

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí

Návrh lávek pro pěší s nosnou konstrukcí z patinujících ocelí

Design of footbridges from weathering steel

Student:

Bc. Zuzana Dolejší

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Vít Křivý, Ph.D.

Ostrava 2011

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 30. 11. 2011

.....

Prohlašuji, že

- jsem byla seznámena s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního § 60 – školní dílo.
- беру на ве́доміі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3)
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše)
- беру на ве́доміі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby

V Ostravě 30. 11. 2011

.....

Poděkování

Chtěla bych tímto způsobem poděkovat všem, kteří mi jakkoliv pomohli při tvorbě mé diplomové práce, zejména Ing. Vítu Krivému, PhD. a Ing. Miroslavu Rosmanitovi, PhD. za trpělivý a vstřícný přístup a mnoho cenných rad.

V neposlední řadě patří velký dík i mé rodině za obrovskou trpělivost a podporu v průběhu celého mého studia.

Anotace:

Cílem této diplomové práce je navrhnout projekt lávky pro pěší s nosnou konstrukcí z patinující oceli. Lávka je oblouková trámová se dvěma nosnými příhradovými trámy a dolní mostovkou. Diplomová práce se zabývá návrhem nosné konstrukce, výpočtem zatížení a posouzením jednotlivých prvků nosné konstrukce a vybraných detailů. Součástí diplomové práce je i rešerše využití patinujících ocelí na konstrukce lávek.

Klíčová slova: Lávka pro pěší, patinující ocel

Annotation:

The objective of this diploma thesis is design of footbridge made of weathering steel. Supporting structure of footbridge is made of two arch trusses and roadway below. The diploma thesis describes design of footbridge, load calculation and assesment of truss members and selected details. Part of the diploma thesis is background research of possibilities of usage of weathering steels for footbridges' constructions

Key words: Footbridge, weathering steel

Obsah diplomové práce:

1.	Úvod.....	8
1.1.	Příklady lávek pro pěší z patinující oceli	9
2.	Konstrukce ocelových mostů a lávek	11
2.1.	Trámové mosty.....	11
2.2.	Rámové mosty.....	14
2.3.	Obloukové mosty	15
2.4.	Zavěšené mosty	18
2.5.	Visuté mosty.....	19
3.	Patinující ocel.....	20
3.1.	Vlastnosti patinujících ocelí	21
3.2.	Korozní odolnost patinujících ocelí	21
3.3.	Navrhování konstrukcí z patinujících ocelí.....	23
4.	Návrh a posouzení lávky.....	26
4.1.	Model konstrukce	27
4.2.	Výpočet zatížení	28
4.3.	Návrh a posouzení mostovky	31
4.4.	Návrh a posouzení nosné konstrukce lávky	38
4.5.	Návrh uložení lávky na opěry	52
4.6.	Modální analýza lávky	56
4.7.	Posouzení únosnosti nosné konstrukce po 100 letech.....	56
4.8.	Návrh a posouzení přípojů	58
5.	Závěr	60
6.	Seznam použité literatury	62
7.	Seznam příloh	62
	Seznam výkresů.....	62

1. Úvod

Mosty a lávky jsou již po staletí budovány pro překonání nejrůznějších překážek. Nejčastěji přemostňují řeky, potoky, strže a hluboká údolí, v posledních desetiletích také železnice a pozemní komunikace. Vždy byly významným a dominantním prvkem v krajině, proto se na ně soustřeďuje pozornost široké veřejnosti. Právě z tohoto důvodu bývá vyžadováno jejich dokonalé řešení nejen z hlediska technického, ale zejména architektonického. V některých případech stojí architektonická a estetická forma takového díla nad ostatními, zejména ekonomickými požadavky.

Návrh mostů a lávek je specifickým oborem navrhování staveb. Hlavní složkou zatížení je zatížení dopravou, respektive v případě lávek chodci. Tato zatížení jsou pohyblivá a opakovaná, což musí návrh konstrukce respektovat s ohledem na požadovanou životnost mostu, oproti běžným pozemním stavbám je ovšem toto zatížení velmi dobře definované.

Většina mostních konstrukcí jsou masivní konstrukce z betonu, případně z kamene. Ocelové (dříve železné) mosty se používají zejména pro velká rozpětí, železniční dopravu nebo pro konstrukce méně obvyklých tvarů.

Úkolem této diplomové práce je navrhnout typizovanou lávku pro pěší s nosnou konstrukcí z patinující oceli. Takovou lávku bude možno umístit na nejrůznějších místech, zejména vhodná bude pro umístění v přírodních lokalitách, jako jsou parky, lesoparky, chráněná území a horské oblasti. To je dáno především charakteristikou použitého materiálu, který je pro použití v takovýchto lokalitách velmi vhodný, a to z nejrůznějších hledisek, včetně ekonomického, ekologického a estetického.

1.1. Příklady lávek pro pěší z patinující oceli



Obr. 1.: Fayetteville, Arkansas, USA (www.accessfayetteville.org)



Obr. 2.: Royal Botanic Gardens, Londýn, Británie (www.treehugger.com)



Obr. 3.: Natural Park, Callahora, Španělsko (www.frameandform.com)



Obr. 4.: Can Gili Footbridge, Španělsko (www.dezeen.com)

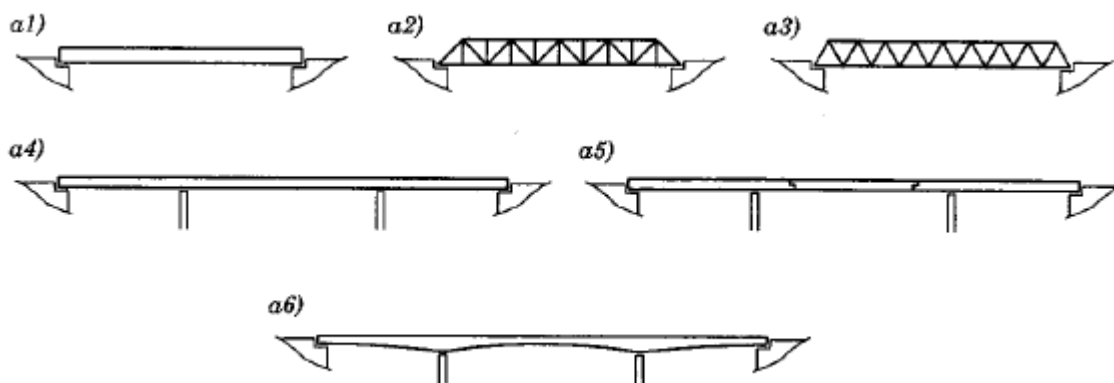


Obr. 5.: Albuquerque, New Mexico, USA (www.contech-cpi.com)

2. Konstrukce ocelových mostů a lávek

2.1. Trámové mosty

Trámové mosty patří mezi nejpoužívanější typ mostů. Je to dáno tím, že jsou vhodné pro mosty pozemních komunikací, železniční mosty i lávky pro chodce, lze je použít pro všechny běžné rozpětí a pro každou polohu mostovky. Jsou zároveň konstrukčně jednoduché a tedy i ekonomicky výhodné. Trámové mosty lze dělit z několika hledisek: počtu hlavních nosníků (jeden – takový nosník musí být tuhy na kroucení, dva, více nosníků v závislosti na šířce mostu), konstrukce nosníku (plnostěnný, příhradový), statického působení nosného systému, geometrie.

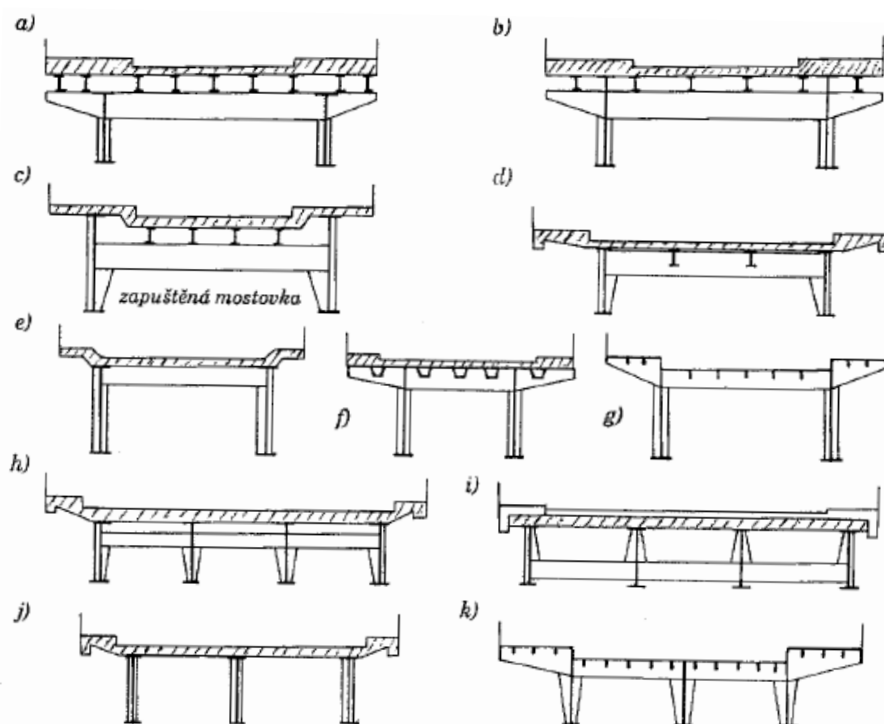


Obr. 6.: Trámové mosty [9]

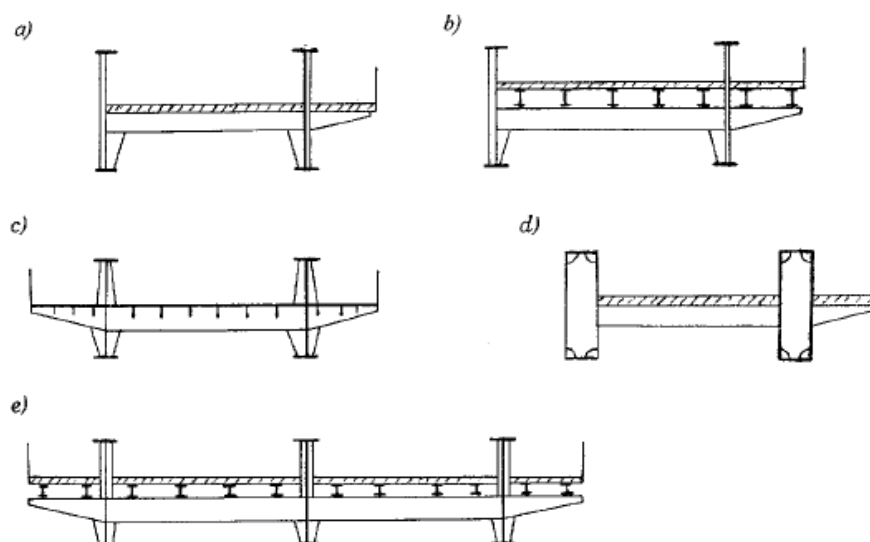
Plnostěnné trémové mosty

Plnostěnné trémové mosty se uplatňují v současné době asi nejvíc. Jejich rozvoj nastal po 2. světové válce, zejména v souvislosti s rozvojem techniky v oblasti svařování, vývojem kvalitnějších ocelí a pokrokem v teoretickém řešení konstrukce. Používají se pro střední a velká rozpětí (největší rozpětí bylo dosaženo na mostě Costa e Silva v Brazílii, jehož hlavní pole má rozpětí 300 m, v České republice má most Vysočina ve Velkém Meziříčí rozpětí hlavního pole 135 m [9]). Železniční mosty se spřaženou ocelobetonovou mostovkou se provádí do rozpětí cca 50 m.

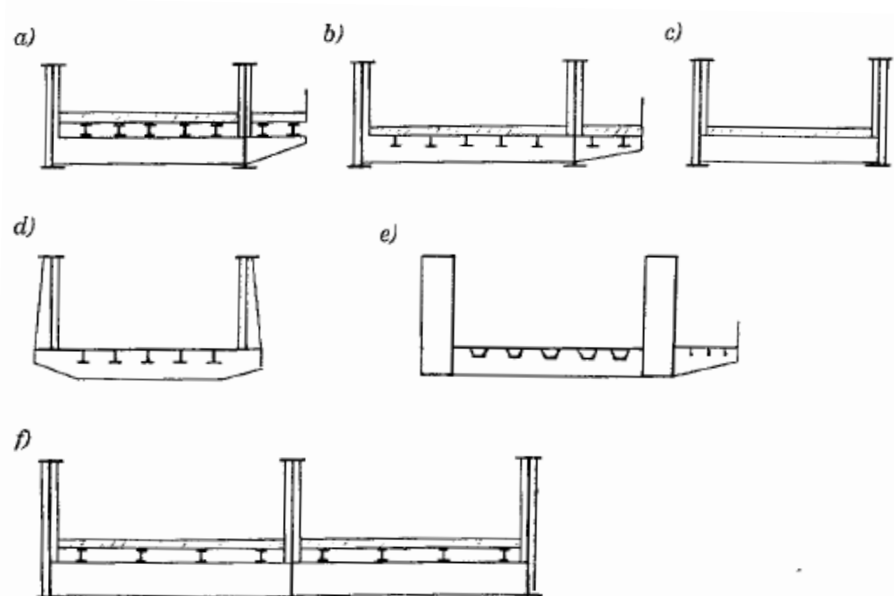
Umožňuje-li to stavební výška, navrhují se tyto mosty s horní mostovkou. Tato poloha mostovky je výhodná, protože chrání ocelové nosníky před nepříznivými účinky vody a rozmrazovacích solí, které mají vliv na vznik a rychlost vývoje koroze. Pokud je stavební výška, umísťuje se mostovka do mezilehlé nebo dolní polohy, takové mosty jsou ale dražší, méně estetické a náročnější na údržbu. Takové mosty mají většinou jen dva hlavní nosníky (u širších mostů výjimečně i tři), pokud jsou jejich součástí i chodníky, lze je umístit na konzoly vně hlavních nosníků, což je výhodné staticky i z hlediska bezpečnosti chodců [9]



Obr. 7.: Příčné řezy plnostěnných trémových mostů s horní mostovkou [9]



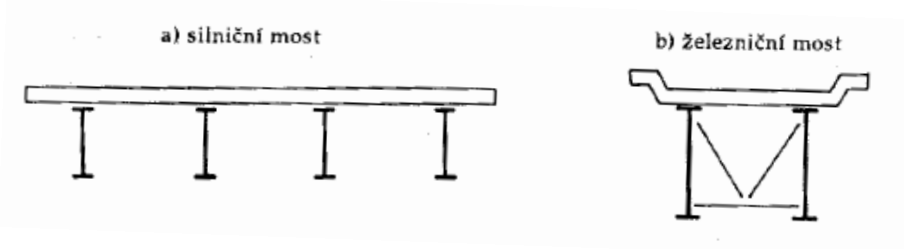
Obr. 8.: Příčné řezy plnostěnných trémových mostů s mezilehlou mostovkou [9]



Obr. 9.: Příčné řezy plnostěnných trémových mostů s dolní mostovkou [9]

Ocelobetonové mosty

Ocelobetonové mosty jsou trémové mosty s železobetonovou mostovkou, která je s hlavními nosníky spřažena spřahovacími prostředky, nejčastěji navařenými spřahovacími trny (lze ovšem použít i jiné varianty spřažení, např. lišty). Používají se pro mosty s horní mostovkou, pro mosty pozemních komunikací nejčastěji jako roštový most, u železničních mostů pak pro mosty s železobetonovým žlabem (viz obrázek).



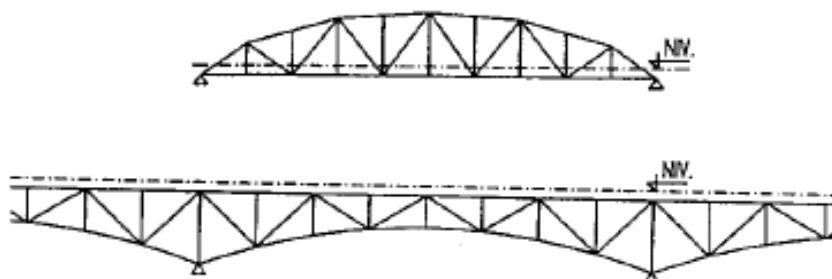
Obr. 10.: Příčné řezy ocelobetonových mostů [9]

Příhradové trémové mosty

Příhradové trémové mosty se dnes používají nejvíce pro železniční mosty, a to pro rozpětí od 40 m. Pro mosty pozemních komunikací bývají dnes využívány jen zřídka, protože plnostěnné nosníky lze navrhnout i pro velká rozpětí s malou konstrukční výškou.

Nově navrhované příhradové mosty se provádějí s dvoustěnnými pásovými pruty a výplňovými pruty celistvého průřezu [9], oproti tomu v minulosti byly navrhovány jednostěnné pásové pruty a členěné výplňové pruty. Takové konstrukce jsou náročné na údržbu, zejména je velmi problematická údržba a obnova protikoroziční ochrany.

Příhradové nosníky mohou být staticky určité nebo neurčité, přímopásmové nebo křivopásmové, svislicové nebo bezsvislicové soustavy.



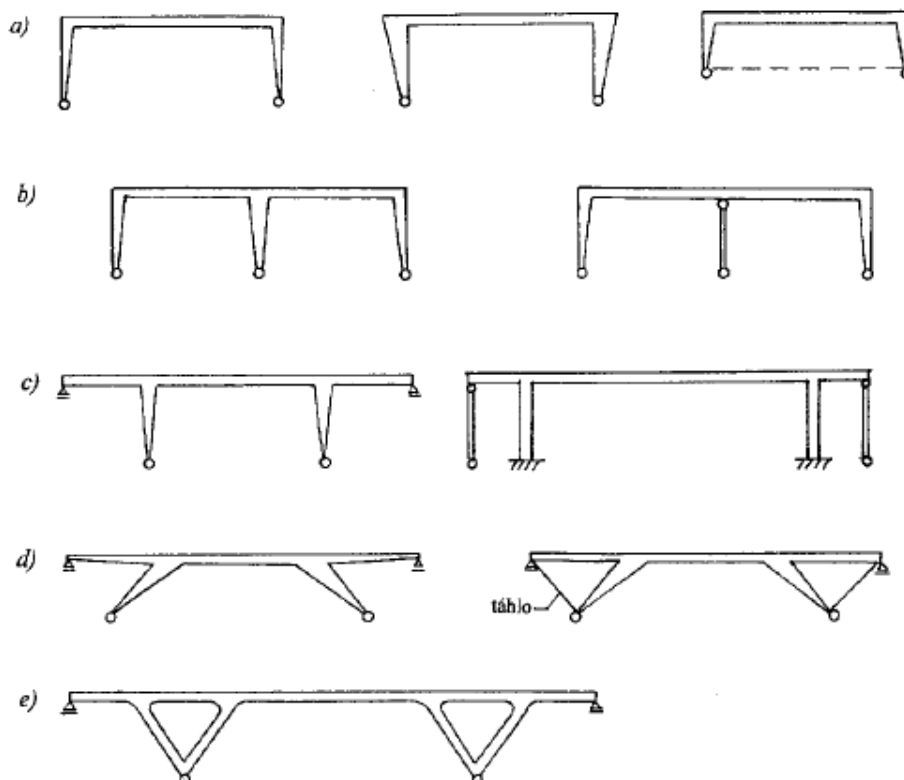
Obr. 11.: Křivopásmové nosníky [9]

Dnes navrhujeme výhradně staticky určité příhradové soustavy. V minulosti často používané násobné soustavy a soustavy s podružnými pruty se nepoužívají. Konstrukce se navrhuje jako co nejjednodušší a nejprůhlednější, často se tedy volí bezsvislicové soustavy.

2.2. Rámové mosty

Rámová konstrukce se pro ocelové mosty používá méně často než pro betonové. Uplatňují se zejména pro menší rozpětí a především tam, kde je třeba snížit konstrukční výšku s ohledem na úroveň nivelety převáděné komunikace a zachování podjezdné výšky. Z tohoto

důvodu jsou často využívány ve městech. Použití prvků s menší výškou je umožněno tím, že na prvku vznikají menší ohybové momenty, je ovšem třeba vhodně vyřešit rámový roh, který musí přenést kladné ohybové momenty do stojky. V případě nepříznivých základových podmínek lze navrhnout táhla, která zachycují vodorovné reakce. Rámy se většinou navrhují jako kloubové. Při posuzování ráků je třeba věnovat pozornost stabilitě.



Obr. 12.: Tvary rámových mostů [9]

2.3.Obloukové mosty

V ideálním případě na obloukové konstrukci vznikají pouze tlakové síly. Obloukové mosty jsou vhodné tam, kde základové poměry umožňují převedení šikmých reakcí do základové půdy bez významnějších nákladů, výhodné jsou např. v hlubokých horských údolích. Výhodou obloukových mostů je jejich vzhled, v případě horní mostovky malá stavební výška uprostřed rozpětí, nevýhodou pak pracnost při výstavbě.

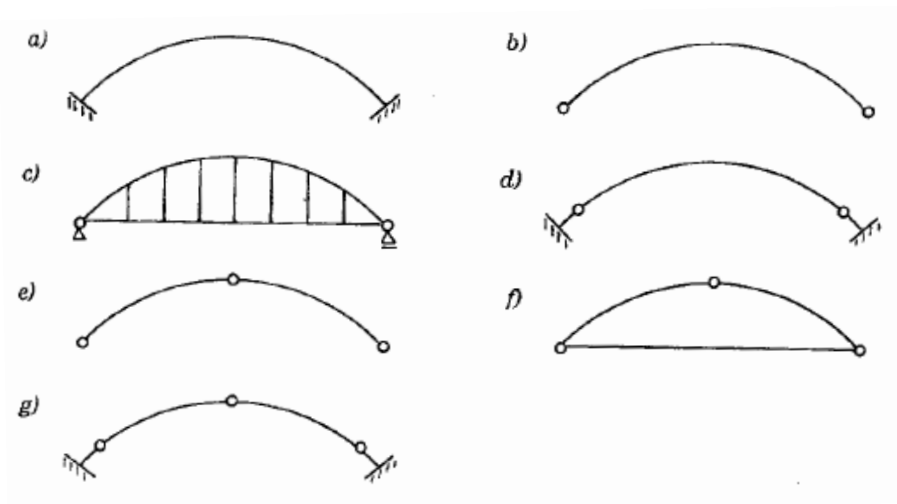
Obloukové mosty rozdělujeme podle několika kritérií:

Směr podporových reakcí:

- Pravé oblouky – svislé zatížení se vyvolává šikmé reakce
- Oblouky s táhlem – svislé zatížení vyvolává svislé reakce

Statická neurčitost:

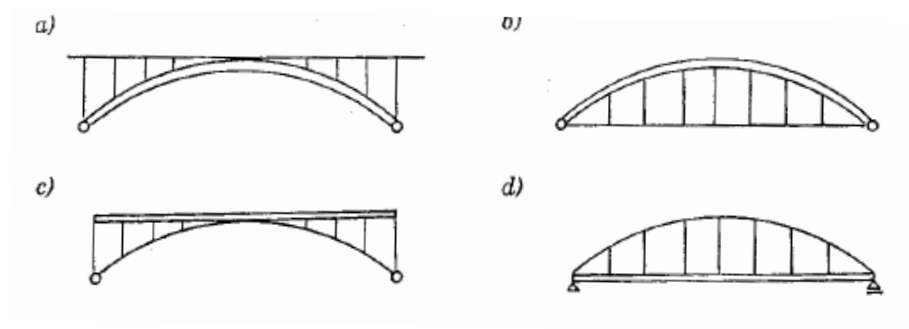
- Vetknuté oblouky – třikrát staticky neurčité, jsou vhodnější pro betonové mosty
- Dvoukloubové oblouky – jednou staticky neurčité, kloubové uložení je pro ocelové konstrukce vhodnější
- Trojkloubové oblouky – staticky určité, jejich napjatost nezávisí na změně teploty nebo na poklesu nebo pootočení podpory; často se používají i jako montážní stav oblouků, které jsou v provozní fázi vetknuté nebo dvoukloubové



Obr. 13.: Statická schémata oblouků [9]

Poměr tuhosti oblouku a trámu mostovky:

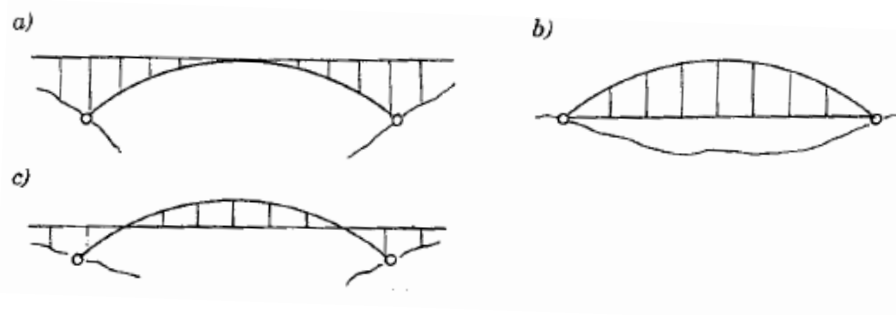
- Tuhý oblouk s horní mostovkou, trám mostovky má vzhledem k oblouku zanedbatelnou tuhost (a)
- Tuhý oblouk s táhlem, jako táhlo funguje trám dolní mostovky, který je zavěšen na oblouku (b)
- Netuhý oblouk vyztužený tuhým trámem (c)
- Langerův trám, tedy tuhý trám vyztužený netuhým obloukem, často využívaný pro mosty s rozpětím 60 až 100 m, oblouk nejčastěji ve tvaru paraboly druhého stupně, vzepětí k rozpětí v poměru 1:5 až 1:7 [9] (d)



Obr. 14.: Oblouky podle poměru tuhosti oblouku a trámu [9]

Poloha mostovky:

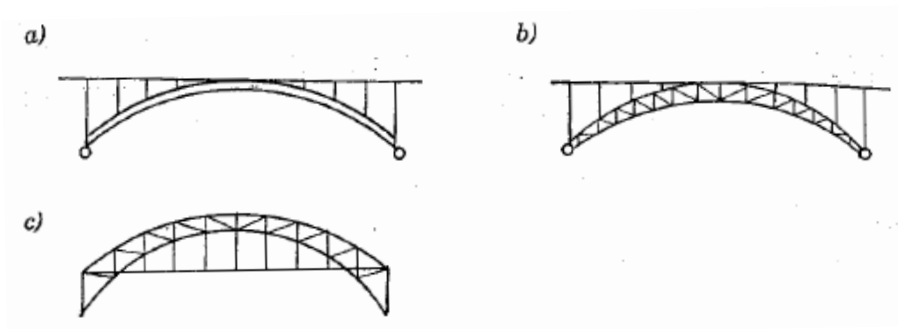
- Horní mostovka – vhodná pro hluboká údolí
- Dolní mostovka
- Mezilehlá mostovka



Obr. 15.: Různé polohy mostovky [9]

Tvar oblouku:

- s rovnoběžnými pásy – plnostěnné nebo příhradové, střednice nejčastěji parabolická
- srpovité – nejčastěji příhradové
- s výškou zvětšující se k patkám – většinou vetknuté oblouky



Obr. 16.: Tvary oblouku [9]

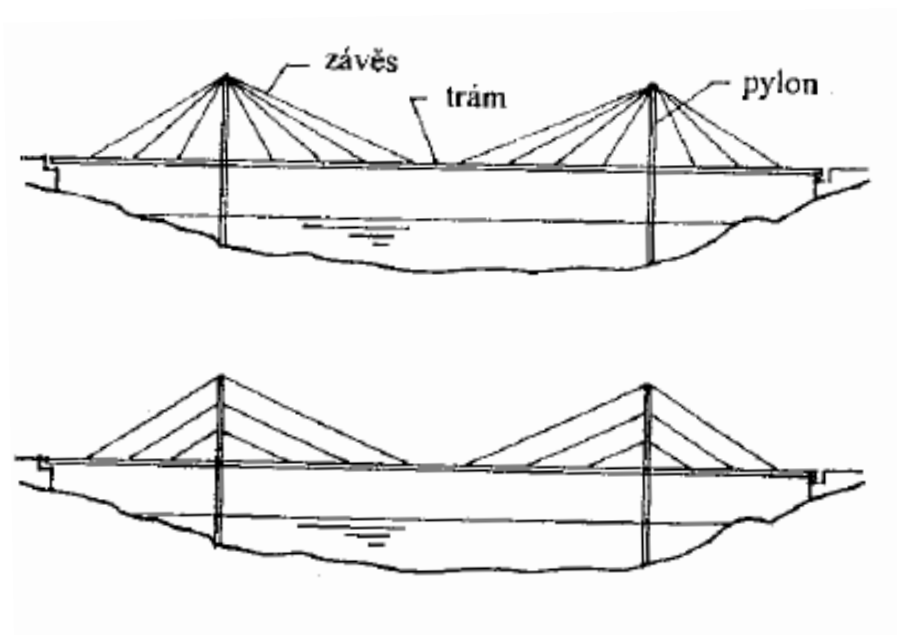
V současné době se navrhují převážně obloukové mosty o jednom poli. Poměr vzepětí k rozpětí bývá v intervalu 1:5 až 1:10, případné převýšení vychází většinou buď z požadavků na umístění základů (chráněná území, nevhodné podmínky) nebo z architektonického ztvárnění oblouku.

Nedílnou součástí každého obloukového mostu musí být podélné ztužení. U mostů s horní mostovkou bývají podélná ztužidla obvykle dvě, jedno v úrovni mostovky a druhé mezi oblouky. U mostů s dolní mostovkou je nutné zajistit oblouky proti vybočení z roviny, nejčastěji příhradovým ztužidlem nebo rámovým ztužením ve tvaru Vierendelova nosníku s uzavřenými rámy v rovinách svislic [9]. Oblouky lze o sebe i opřít. Chceme-li navrhnout volně stojící oblouky, musí mít jejich průřez dostatečnou tuhost proti vybočení z roviny.

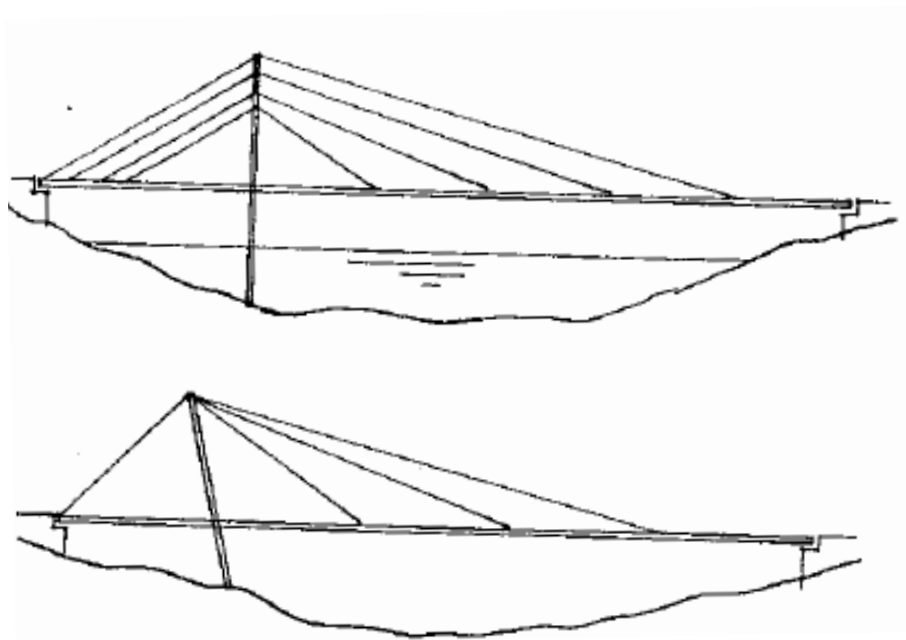
2.4. Zavěšené mosty

Hlavní trámový nosník zavěšených mostů je v několika bodech zavěšen na závěsy, které přes pylony přenáší zatížení do základů. Trámový nosník tak působí jako spojitý nosník na pružných podporách, přičemž poddajnost podpor je dána protažením závěsného lana. Nosníky navrhujeme zpravidla plnostěnné. Pylony bývají většinou betonové. Závěsy mohou být uspořádány souměrně nebo asymetricky, nesouměrné uspořádání bývá voleno např. ze vzhledových důvodů. Je vhodné, aby se výslednice sil přenášená lany do pylonu příliš neodchylovala od osy pylonu.

Obr. 17.: Tvary oblouku [9]



Obr. 18.: Symetrické zavěšené mosty [9]



Obr. 19.: Asymetrické zavěšené mosty [9]

Navrhují se většinou mosty se závěsy ve dvou rovinách. Lze navrhnout i most se závěsem v jedné rovině, v takovém případě musí být trámový nosník dostatečně tuhý na kroucení

2.5. Visuté mosty

Visuté mosty umožňují překlenutí největších rozpětí (v současnosti 1991 m – Akashi Kaioko neboli Pearl Bridge, Japonsko). Jejich hlavním nosným prvkem je lano vedené přes pylony a kotvené do bloků poblíž mostních opěr. Na laně je pak pomocí závěsů zavěšen plnostěnný nebo příhradový trám. Nosná lana jsou namáhána pouze tahovými silami (právě toto umožňuje navrhovat visuté mosty na extrémní rozpětí). Visuté mosty jsou hospodárné od rozpětí cca 300 m.



Obr. 20.: Schéma visutého mostu [9]

3. Patinující ocel

Patinující oceli (oceli se zvýšenou odolností proti atmosférické korozi, anglicky *weathering steel*) jsou speciálním druhem konstrukčních ocelí, které za vhodných atmosférických a konstrukčních podmínek vytváří na svém povrchu vrstvu ochranné patiny. Tato patina významně zpomaluje rychlost koroze materiálu, patinující oceli lze tedy bez další protikorozní ochrany použít pro nosné konstrukce s návrhovou životností až 100 let.

Použití patinujících ocelí je vhodné na téměř všechny konstrukce ve vnějším prostředí, výjimku tvoří zejména konstrukce ve znečištěném prostředí, konstrukce v prostředí s vysokou koncentrací solí (zejména konstrukce v přímořských oblastech a konstrukce, na které mohou působit rozpustné složky posypových solí), trvale mokré konstrukce a konstrukce ve styku se zeminou.

Patinující oceli nevyžadují další povrchové protikorozní ochrany, jsou tedy vhodné zejména pro takové konstrukce, kde by provádění a údržba takové ochrany byla značně finančně nákladná (např. chráněná krajinná území), obtížná (v horských oblastech) nebo nebezpečná pro zdraví a život pracovníků (např. nad elektrifikovanou tratí). To značně snižuje náklady na takovouto konstrukci, a to jak ve fázi realizace (úspora se pohybuje v rozmezí cca 2-10 % z nákladů), tak zejména ve fázi užívání – náklady na údržbu spojené s obnovou protikorozní ochrany jsou minimální. Tento ekonomický aspekt bývá nejvýznamnější při volbě patinujících ocelí jako hlavního konstrukčního materiálu.



Obr. 21.: Příklad mostu z patinující oceli - Pennybacker Bridge, USA (www.flicker.com)

3.1. Vlastnosti patinujících ocelí

Patinující oceli jsou nízkolegované oceli s obsahem legujících prvků cca 2 hmotnostní %. Pro jejich správnou funkci je důležitá vyváženost jednotlivých legujících prvků, zejména mědi (Cu), fosforu (P) a chromu (Cr). Tyto prvky způsobují, že se vytváří vrstva ochranných korozních produktů.

Vlastnosti a chemické složení patinujících ocelí jsou dány evropskou normou ČSN EN 10025-5 Výrobky válcované za tepla z konstrukčních ocelí - Část 5: Technické dodací podmínky na konstrukční oceli se zvýšenou odolností proti atmosférické korozi. Pro reálné konstrukce se používají především oceli pevnostní třídy S355, a to v jakostech S355J2WP (korozně výhodnější, plechy do 12 mm a tvarové tyče I, U, L) a S355J2W (pro výrobu svařovaných konstrukcí, plechy do tlouštěk 100 mm). Chemické složení a mechanické vlastnosti výrobků z patinujících ocelí jsou uvedeny v tabulkách.

Chemické složení hotových hutních výrobků z patinujících ocelí S355W [8]

Jakost oceli	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Ni	Mo	Zr	obchodní značka oceli
S355J2WP	0,15	0,80	1,10	0,05	0,03	0,25	0,20	0,70			Atmofix A Corten A
	max	max	max	0,16	max	1,35	0,60	max			
S355J2W	0,19	0,55	0,45	0,035	0,03	0,35	0,20	0,70	0,35	0,17	Atmofix B Corten B
	max	max	1,60	max	max	0,85	0,60	max	Max	max	

Mechanické vlastnosti hutních výrobků z patinujících ocelí S355W [8]

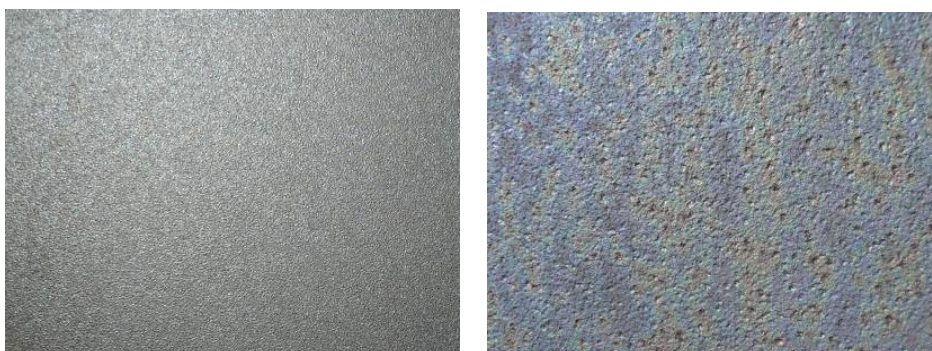
Jakost oceli	Mez kluzu R_{eH} [MPa]						Pevnost v tahu R_m [MPa]		Tažnost A_5 [%]		
	≤ 16 mm	> 16 ≤ 40	> 40 ≤ 63	> 63 ≤ 80	> 80 ≤ 100	> 100 ≤ 150	≤ 100 mm	> 100 ≤ 150	≤ 40 mm	> 40 ≤ 63	> 63 ≤ 150
S355J2WP	355	345					470 - 630		20		
S355J2W	355	345	335	325	315	295	470 - 630	450 - 600	20	19	18

3.2. Korozní odolnost patinujících ocelí

Vrstva korozních produktů patinujících ocelí je vysoce adherentní a omezeně propustná. Není pasivní ani nebrání průniku prostředí k základnímu materiálu, nicméně je kompaktnější a méně porézní než rez na běžných konstrukčních ocelích. Vrstva patiny se vytváří postupně a ustaluje se po zhruba 3 až 5 letech, přičemž je nutné střídání doby ovlhčení a vysušení

povrchu. Pro příznivý náběh tvorby patiny je třeba přiměřená čistota povrchu konstrukce, které lze dosáhnout zejména tryskáním válcovaného povrchu. Zpočátku vzniká oranžová až světle hnědá patina ve vrstvě o tloušťce 50-100 μm , tuto vrstvu je vhodné chránit co nejlépe proti kontaminaci stavebními materiály, které by zpomalily další postup vývoje patiny. Postupně patina tmavne do tmavě hnědé barvy, někdy až s nádechem do fialova. Takováto vrstva patiny snižuje korozní rychlost základního materiálu na přijatelnou hodnotu, nicméně ji nikdy zcela nezastaví – koroze je trvalý proces. V průběhu životnosti konstrukce se tedy tloušťka průřezu postupně snižuje.

Vzhled patiny závisí na umístění prvku v rámci konstrukce. Patina přímo ovlhčovaných ploch je hrubší, její povrch je kompaktnější a více přilnavý. Na nepřímo ovlhčovaných plochách je patina světlejší s rovnoměrnějším povrchem, její vznik je pomalejší. Na plochách ve vnitřním prostředí vzniká jen tenká vrstva rzi, která většinou neplní zcela ochrannou funkci patiny. Korozní rychlost je však v porovnání s vnějším prostředím minimální.



Obr. 22.: Vzhled patiny na přímo ovlhčovaných plochách [8]

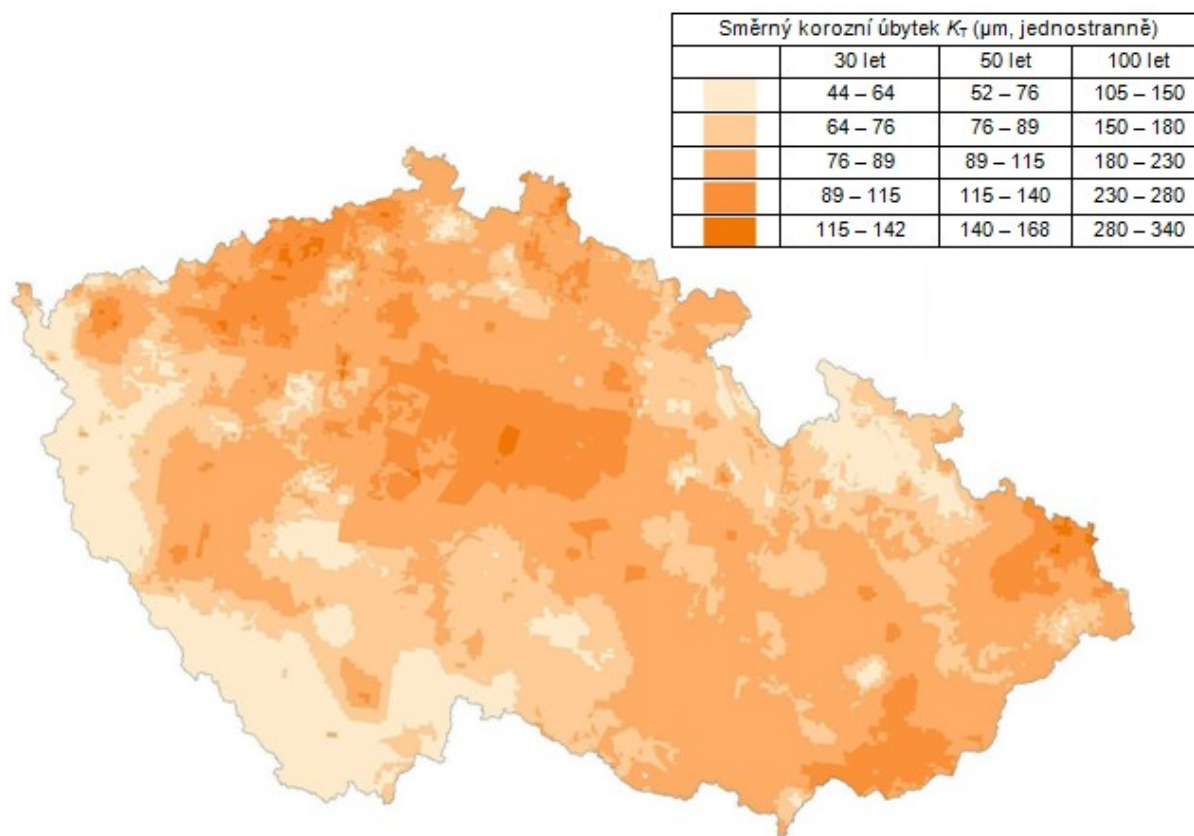


Obr. 23.: Vzhled patiny na nepřímo ovlhčovaných plochách [8]

Korozní rychlost konkrétní konstrukce (a z ní vycházející výpočet korozního úbytku) závisí na mnoha faktorech. Je to zejména lokalita umístění konstrukce (korozní agresivita konkrétního prostředí), mikroklimatické vlivy (umístění prvku v rámci konstrukce – zda jde o přímo nebo nepřímo ovlhčovaný prvek, svislý nebo vodorovný, dále pak vliv okolní vegetace,

vodní překážky atd.), použitý materiál (ocel S355J2W má vyšší korozní rychlost než S355J2WP). Významný vliv má i kvalita kontroly a údržby konstrukce.

Korozní rychlost se stanovuje pro určení směrného korozního úbytku K_T . Ten lze vypočítat, odečíst z mapky (viz obrázek), nebo lze použít specializovaný software. Návrhová hodnota korozního úbytku se pak používá pro výpočet minimálního korozního přírůstku prvku Δt_{\min} .



Obr. 24.: Mapa směrných korozních úbytků při úrovni znečištění SO_2 v r. 2010 [8]

3.3. Navrhování konstrukcí z patinujících ocelí

Pro konstrukce z patinujících ocelí platí stejné konstrukční zásady jako pro konstrukce z běžných konstrukčních ocelí, kromě toho však musí svým uspořádáním a řešením detailů vytvořit vhodné podmínky pro tvorbu ochranné patiny. To znamená, že by se v žádném místě konstrukce neměla hromadit voda, prach, uvolněné korozní produkty ani jiné nečistoty, jejichž přítomnost by nepříznivě ovlivnila tvorbu vrstvy patiny. Konstrukce by měla být snadno kontrolovatelná a očistitelná proudem vody. Nejvhodnější jsou konstrukce jednoduchého tvaru, bez složitého členění. Pro spoje prvků jsou upřednostňovány svary (průběžné nebo celoobvodové), přednostně pak tupé svary. Při použití šroubových spojů musí

být zajištěna jejich těsnost, používají se výhradně předepnuté vysokopevnostní šrouby s minimálními roztečemi. V každém případě musí být veškeré spáry utěsněné, při nedodržení tohoto požadavku vzniká nebezpečí vzniku spárové koroze, kdy objemné korozní produkty svým působením otevírají spáru a postupující koroze může znehodnotit přípoj a poškodit tak celou konstrukci.



Obr. 25.: Příklady svarů poškozených spárovou korozí [8]

Při řešení detailů konstrukce je třeba dbát na to, aby na konstrukci nevznikaly kouty a rohy, ve kterých by se mohly hromadit nečistoty a voda, které by měly nepříznivý vliv na vývoj ochranné vrstvy patiny a tím pádem na stav a bezpečnost celé konstrukce. Toho lze dosáhnout použitím vhodných konstrukčních úprav takovýchto potenciálně nebezpečných míst (např. použití šikmých plechů), použitím vhodných tvarů profilů pro daný prvek (např. příčných výztuh plnostěnných nosníků) nebo vhodnou orientací prvků v konstrukci (zejména L-úhelníků).



Obr. 26.: Příklad použití šikmého plechu u dolní pásnice plnostěnného nosníku [8]

Pro navrhování konstrukcí z patinujících ocelí platí všechny evropské normy pro navrhování ocelových a ocelobetonových konstrukcí, Eurokódy 3 a 4, zejména pak:

- ČSN EN 1993-1-1 Navrhování ocelových konstrukcí - Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby;
- ČSN EN 1993-1-8 Navrhování ocelových konstrukcí - Spoje ocelových konstrukcí;
- ČSN EN 1993-1-9 Navrhování ocelových konstrukcí - Únava;
- ČSN EN 1993-2 Navrhování ocelových konstrukcí - Ocelové mosty;
- ČSN EN 1993-3-1 Navrhování ocelových konstrukcí - Stožáry;
- ČSN EN 1994-2 Navrhování spřažených ocelobetonových konstrukcí - Obecná pravidla a pravidla pro mosty.

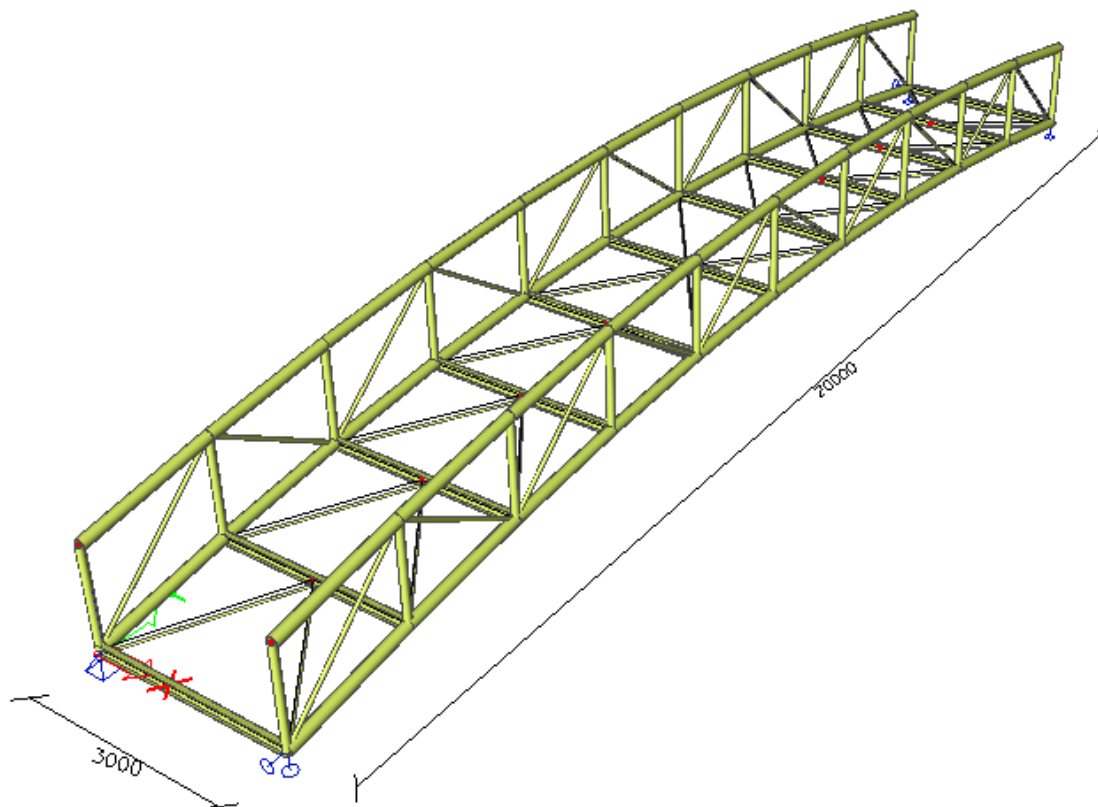
Pokud se jedná o konstrukci s návrhovou životností do 30 let v prostředí s korozní agresivitou nejvýše C4 při dodržení konstrukčních zásad uvedených v kapitole 4 publikace [8], není nutné uvažovat korozní oslabení nosné konstrukce. Pokud tyto podmínky nejsou splněny, je nutno prokázat, že konstrukce splňuje podmínky mezních stavů dle příslušné normy i na konci plánované životnosti. Tento posudek se provádí výpočtem korozního přírůstku tloušťky nosného prvku Δt_{\min} .

4. Návrh a posouzení lávky

Předmětem mé diplomové práce je navrhnout lávku pro pěší s rozpětím 20 m s nosnou konstrukcí z patinující oceli. Navrhla jsem obloukovou trémovou lávku s příhradovými nosnými trámy a dolní mostovkou. Navržený parabolický oblouk je velmi plochý, jeho vzepětí je pouze jeden metr, což minimálně ovlivňuje výpočet lávky, ovšem je to dostatečné pro příznivý vzhled celé konstrukce.

Hlavním nosným prvkem lávky jsou dva příhradové trámy svařované z válcovaných trubek z oceli S355J2W. Horní i dolní pás příhradoviny je průběžný. Osová vzdálenost trámů je tři metry. Mezi trámy jsou příčníky z válcovaných tyčí IPE, rovněž z oceli S355J2W. Příčníky jsou k trámům přivařeny v místech svislic příhradoviny, čímž vznikají polorámy, jejichž tuhost zajišťuje stabilitu horních tlačných pásů příhrady při vybočení z roviny. Je rovněž navrženo podélné podmostvkové příhradové ztužidlo. Na příčnicích je uložena železobetonová mostovka z betonu třídy C30/37.

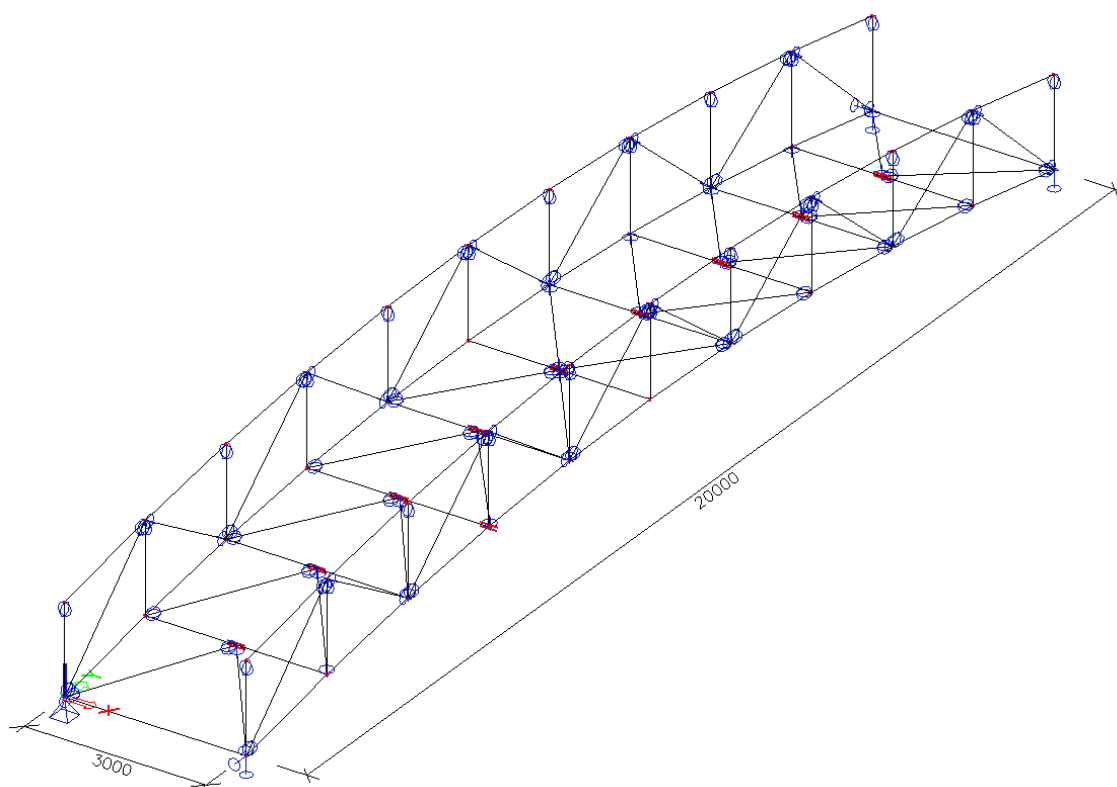
Lávka je kloubově uložena na ložiskách, přes které se účinky zatížení přenášejí do základů a základové spáry. Návrh základové konstrukce není předmětem této diplomové práce.



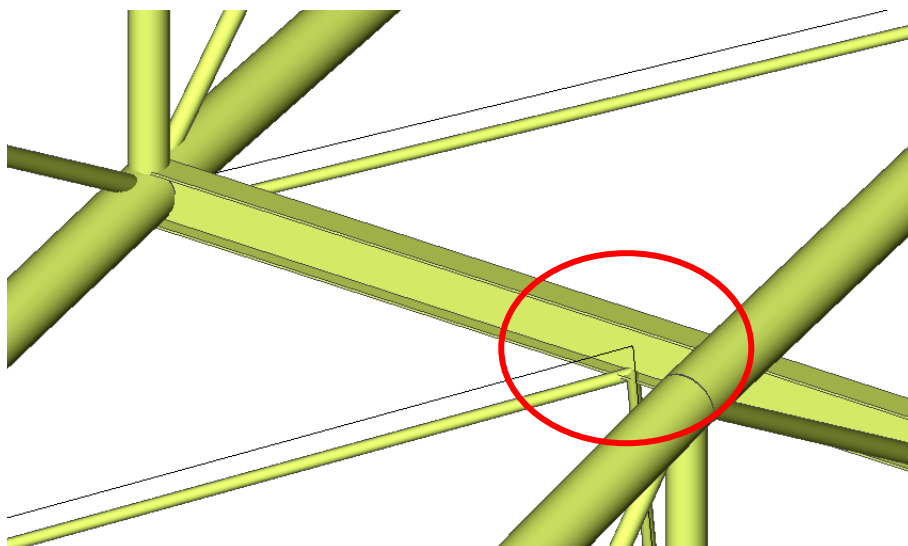
Obr. 27.: Model konstrukce (Scia Engineer 2011.0)

4.1. Model konstrukce

Nosnou konstrukci lávky jsem vymodelovala jako prutový 3D model ve výpočetním softwaru Scia Engineer 2011.0. Horní a dolní pás příhradového nosníku je vymodelovaný jako spojitý. Příčníky jsou k pásům připojeny tuze, aby vznikl požadovaný polorám. Svislice jsou ze stejného důvodu připojeny na dolní pás tuze, k hornímu pásu jsou pak připojeny kloubově. Diagonály jsou na obou koncích připojeny kloubově. Pruty podélného ztužení jsou rovněž připojeny k příčnícím kloubově, navíc je jim definována excentricita, aby jejich chování v modelu odpovídalo chování v reálné konstrukci, na které budou také umístěny excentricky na úrovni spodní pásnice podélníků.



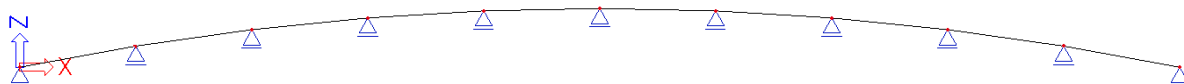
Obr. 28.: Prutový model konstrukce (Scia Engineer 2011.0)



Obr. 29.: Excentricita prvků podélného ztužení (Scia Engineer 2011.0)

Protože železobetonovou mostovku nenavrhuji jako spřaženou s ocelovou nosnou konstrukcí, není v modelu vymodelovaná a zatížení vyvolané vlastní tíhou mostovky je přepočítané na rovnoměrné liniové zatížení na příčnicky. Stejně tak je přímo na příčnicky zadáváno i zatížení vyvolané dopravou. Pro modální analýzu pro určení vlastních frekvencí jsou na prutech navíc přidány spojitě hmoty odpovídající hmotě mostovky.

Výpočet samotné mostovky pak probíhá zjednodušeně pomocí nosníkové analogie. Při něm se zjednodušeně uvažuje pás železobetonové desky a počítá se jako nosník o jednotkové šířce. V tomto případě je tedy deskový pás vymodelován jako spojitý nosník o deseti polích se šířkou jeden metr a tloušťkou odpovídající tloušťce navržené desky.



Obr. 30.: Spojitý nosník nahrazující pro výpočty desku mostovky (Scia Engineer 2011.0)

4.2. Výpočet zatížení

Stálé zatížení

Vlastní tíha ocelové konstrukce	Scia Engineer 2011.0
Železobetonová mostovka tl. 150 mm	3,75 kN/m ²
Pochozí asfaltová vrstva tl. 50 mm	1,15 kN/m
Ocelové zábradlí	1,0 kN/m

Zatížení dopravou

Zatížení lávky dopravou je dáno normou ČSN EN 1991-2

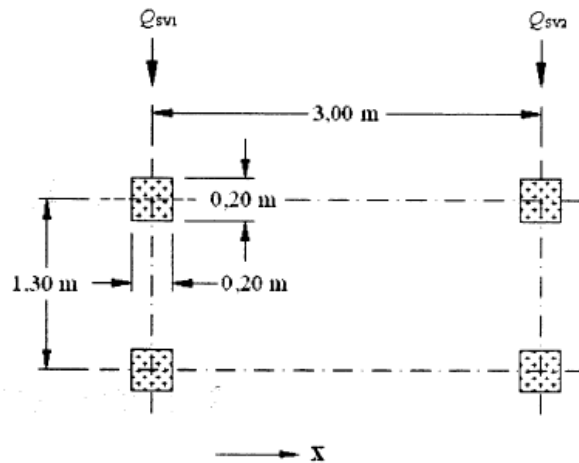
Zatížení chodci

Svislé $q_{fk} = 5 \text{ kN/m}^2$

Vodorovné $q_{fk} = 0,5 \text{ kN/m}^2$

Zatížení obslužným vozidlem

Lávka je dimenzovaná na průjezd obslužného vozidla (vozidlo pro údržbu, nouzové vozidlo). Vozidlo působí na lávku nápravovými silami Q_{sv} (viz obrázek) a brzdnými silami Q_H .



Obr. 31.: Schéma zatížení obslužným vozidlem [4]

$$Q_{sv1} = 80 \text{ kN}$$

$$Q_{sv2} = 40 \text{ kN}$$

$$Q_{H1} = 0,6 \cdot \frac{Q_{sv1}}{2} = 24 \text{ kN}$$

$$Q_{H2} = 0,6 \cdot \frac{Q_{sv2}}{2} = 12 \text{ kN}$$

Zatížení větrem

Zatížení lávky větrem je dáno normou ČSN EN 1991-1-4

$$v_{b,0} = 25,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 25,0 = 25,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Předpokládáme kategorii terénu II. (krajina s nízkou vegetací, jako je tráva nebo izolované překážky), volnou výšku pod konstrukcí mostu 5 m.



Obr. 32.: Terén kategorie II [3]

$$z_0 = 0,05 \text{ m}$$

$$z_e = 5 + \frac{1}{2} \cdot 1,65 = 5,825 \text{ m} \geq z_{\min} = 2 \text{ m}$$

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left(\frac{0,05}{0,05} \right)^{0,07} = 0,19$$

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln \frac{z}{z_0} = 0,19 \cdot \ln \frac{5,825}{0,05} = 0,904$$

$$c_0(z) = 1,0$$

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b = 0,904 \cdot 1,0 \cdot 25,0 = 22,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$I_v(z) = \frac{k_I}{c_0(z) \cdot \ln \frac{z}{z_0}} = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln \frac{5,825}{0,05}} = 0,21$$

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2 = [1 + 7 \cdot 0,21] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 22,6^2 = 788 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$= 0,788 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$$

Vodorovná síla na hlavní nosník:

$$\frac{b}{d_{\text{tot}}} = \frac{3,15}{1,65} = 1,91$$

$$A_{\text{ref},x} = 0,5 \text{ m}^2/\text{m}$$

$$c_{fx} = 2,0$$

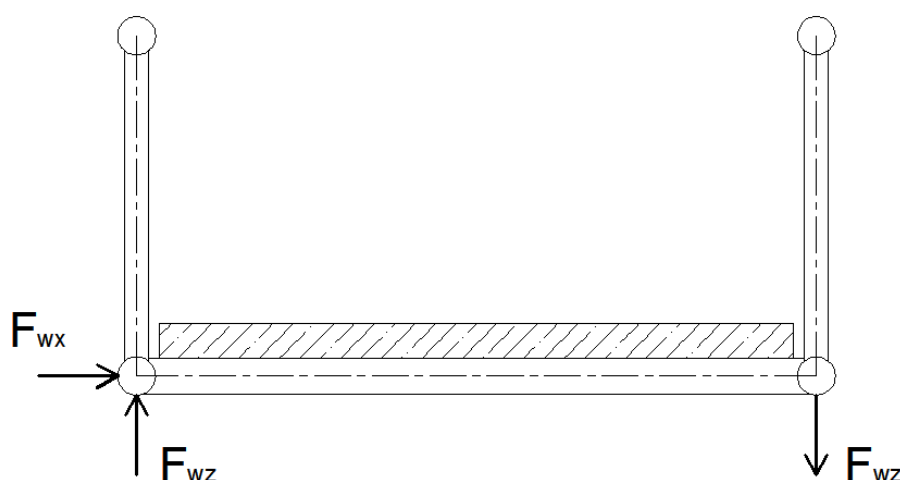
$$F_{wx} = q_p \cdot c_{fx} \cdot A_{ref,x} = 0,788 \cdot 2,0 \cdot 0,5 = 0,788 \text{ kN/m}$$

Síla přitěžující a odlehčující hlavní nosník:

$$A_{ref,z} = 3,15 \text{ m}^2/\text{m}$$

$$c_{f,z} = \pm 0,9$$

$$F_{wz} = q_p \cdot c_{fz} \cdot A_{ref,z} = 0,788 \cdot 0,9 \cdot 3,15 = 2,23 \text{ kN/m}$$



Obr. 33.: Schéma zatížení lávky větrem

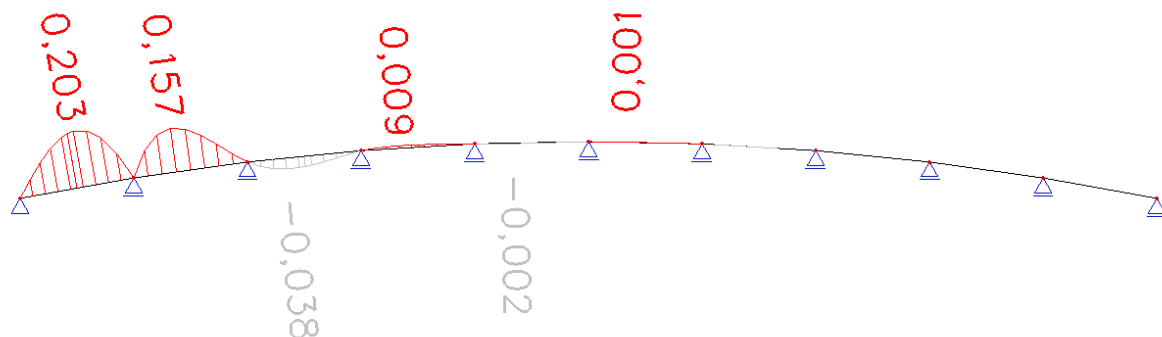
Zatížení sněhem

Na lávce neuvažuji zatížení sněhem. Předpokládám, že sníh bude z mostovky mechanicky odklizen nebo nebude lávka využívána. Na lávce je vzhledem k použitému materiálu nosné konstrukce (patinující ocel) nepřipustné používání rozmrazovacích solí!

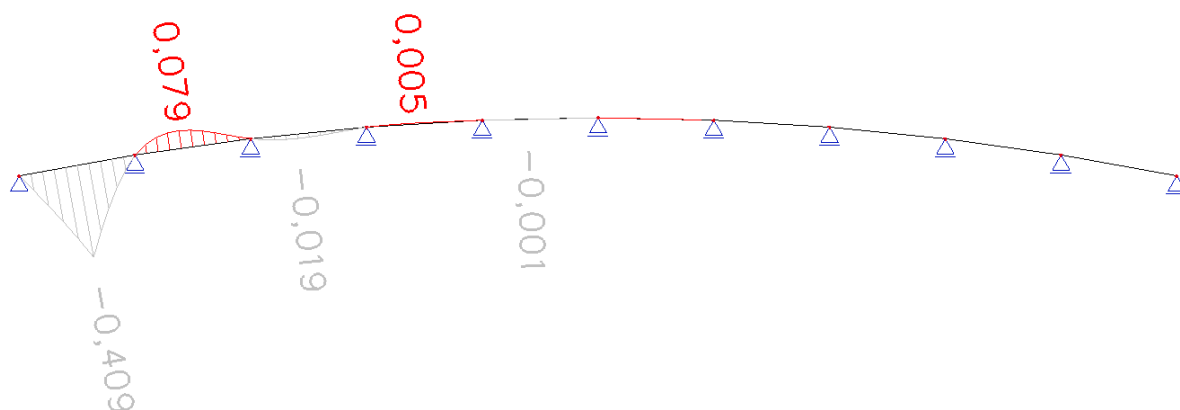
4.3.Návrh a posouzení mostovky

Mostovka lávky je navržena jako železobetonová deska o tloušťce 150 mm z betonu třídy C30/37 s výztuží B500B. Pro výpočet je použita nosníková analogie – mostovku reprezentuje spojitý nosník o 10 polích o šířce 1 metr.

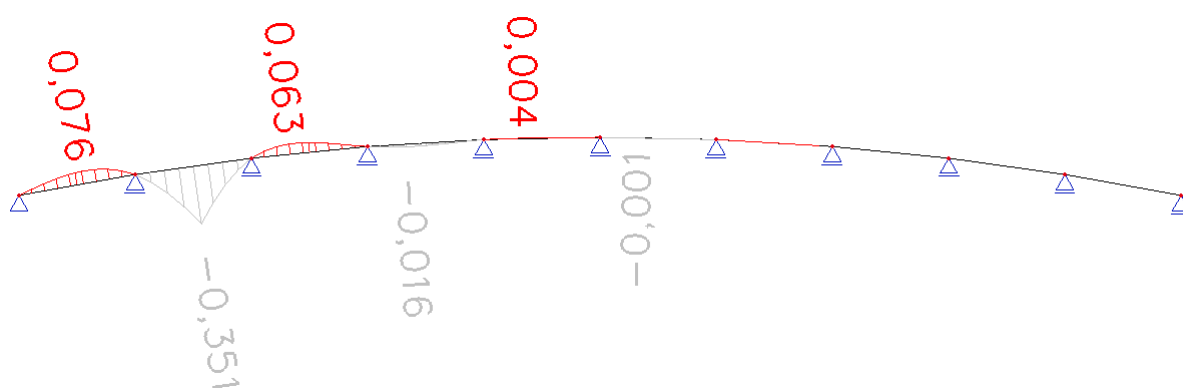
Na mostovku působí zatížení vlastní tíhou, zatížení od pochozí vrstvy a zatížení od dopravy – spojitě zatížení chodci a zatížení vyvolané obslužným vozidlem. Umístění zatížení na nosník je dáno příčinkovými čarami.



Obr. 34.: Příčinková čára pro ohybový moment nad první vnitřní podporou



Obr. 35.: Příčinková čára pro ohybový moment uprostřed prvního pole

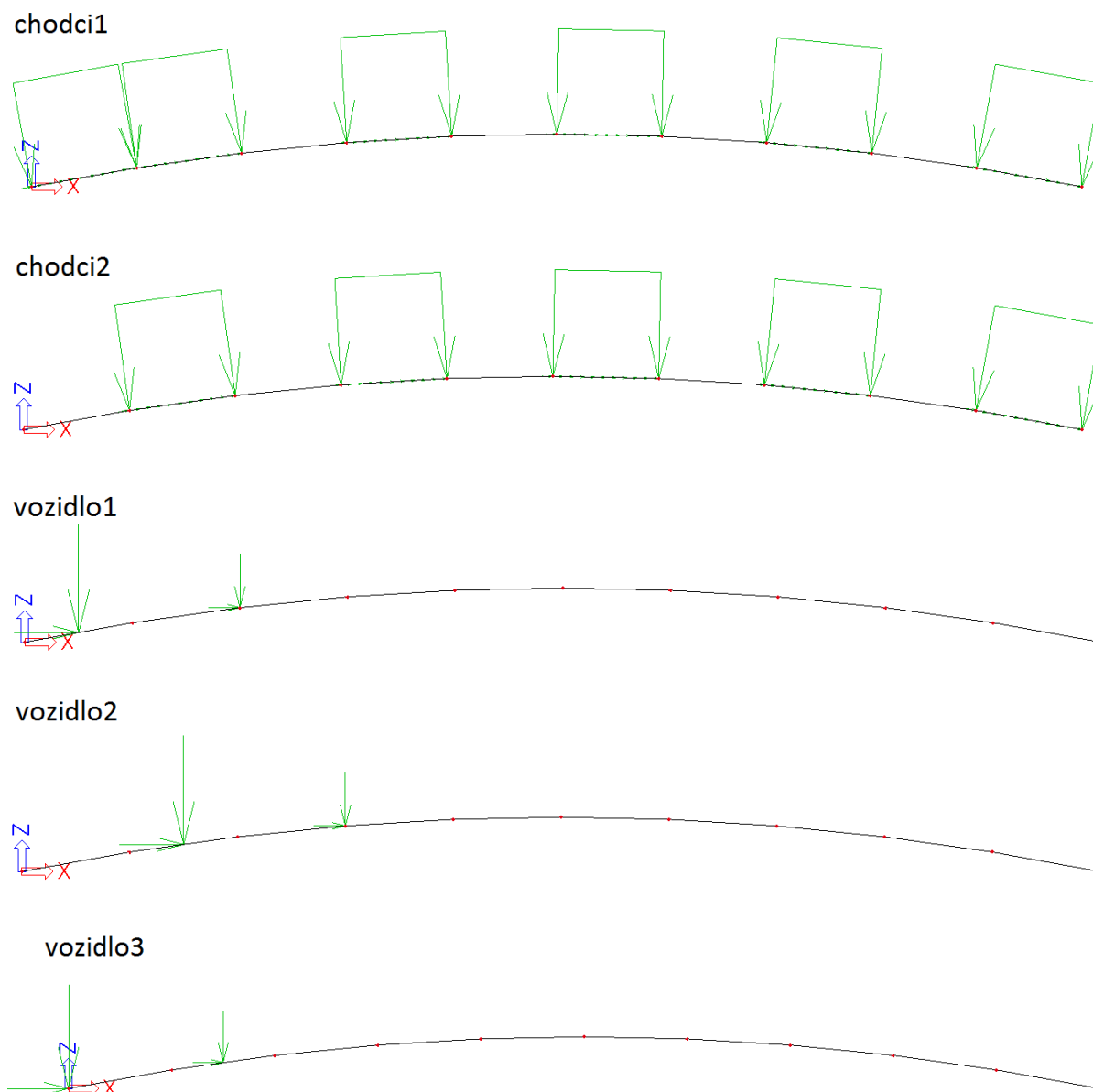


Obr. 36.: Příčinková čára pro ohybový moment uprostřed druhého pole

Únosnost železobetonové desky je třeba posoudit pro maximální kladný (v poli) a záporný (nad podporou) ohybový moment.

Zatížení mostovky

Mostovku zatěžujeme spojitým a bodovým zatížením ve shodě s průběhem příčinkových čar pro ohybový moment. Zatížení tíhou pochozí vrstvy působí samozřejmě na celé ploše mostovky. Zatěžovací stavy jsou dva pro spojitě zatížení chodci a dva pro zatížení obslužným vozidlem. Samostatným zatěžovacím stavem je i vlastní tíha mostovky. Pro určení maximální posouvající síly je přidán zatěžovací stav vozidlem nad krajní podporou

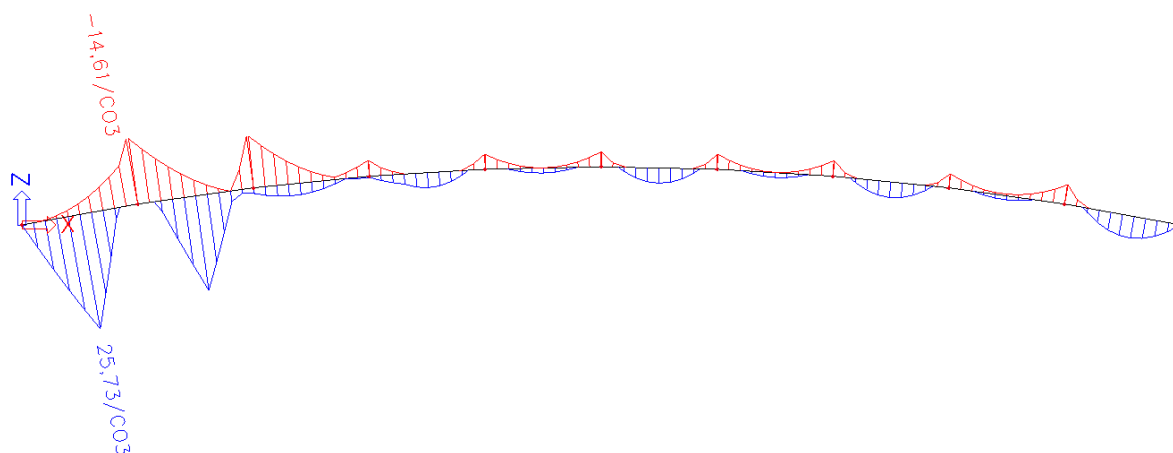


Obr. 37.: Zatěžovací stavy mostovky

Z těchto zatěžovacích stavů jsou následně vytvořeny kombinace. Dle normy ČSN EN 1991-2 se mezi sebou zatížení vyvolaná chodci a obslužným vozidlem nekombinují. Celkem je tedy vytvořeno pět kombinací zatížení dle následující tabulky.

Jméno	Typ	Zatěžovací stavy	Souč.
CO1	MSÚ	vlastní	1,35
		asfalt	1,35
		chodci1	1,35
CO2	MSÚ	vlastní	1,35
		asfalt	1,35
		chodci2	1,35
CO3	MSÚ	vlastní	1,35
		asfalt	1,35
		vozidlo1	1,35
CO4	MSÚ	vlastní	1,35
		asfalt	1,35
		vozidlo2	1,35
CO5	MSÚ	vlastní	1,35
		asfalt	1,35
		vozidlo3	1,35

Lineárním výpočtem pak zjistíme maximální ohybové momenty v poli a nad podporou a navrhne na ně výztuž železobetonové mostovky



Obr. 38.: Výsledné maximální ohybové momenty na desce mostovky

Návrh a posouzení mostovky

Materiálové charakteristiky

Beton C30/37

$$f_{c,k} = 30 \text{ MPa}$$

$$f_{c,d} = \frac{f_{c,k}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$$

$$f_{ctk} = 2,0 \text{ MPa}$$

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk}}{\gamma_c} = \frac{2,0}{1,5} = 1,33 \text{ MPa}$$

Ocelová výztuž B500B

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_c} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ MPa}$$

Návrh mostovky:

$$t = 150 \text{ mm}$$

$$\emptyset_d = 16 \text{ mm}$$

$$\emptyset_h = 12 \text{ mm}$$

Krytí:

$$c_d = 50 \text{ mm}$$

$$c_h = 20 \text{ mm} \quad (\text{horní povrch mostovky je chráněn pochozí asfaltovou vrstvou})$$

$$d = t - c - \frac{\emptyset}{2}$$

$$d_d = 150 - 50 - 8 = 92 \text{ mm}$$

$$d_h = 150 - 20 - 6 = 124 \text{ mm}$$

Návrh výztuže:

$$a_{s,req,d} = \frac{M_{Ed}}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{25,73 \cdot 10^6}{0,9 \cdot 92 \cdot 434,78} = 715 \text{ mm}^2$$

Navrženo Ø16 mm à 200 mm

$$a_{s,d} = 1005 \text{ mm}^2$$

$$a_{s,req,h} = \frac{M_{Ed}}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{14,61 \cdot 10^6}{0,9 \cdot 124 \cdot 434,78} = 301 \text{ mm}^2$$

Navrženo Ø12 mm à 250 mm

$$a_{s,d} = 452 \text{ mm}^2$$

Posouzení výztuže na ohyb:

$$F_{s,d} = a_{s,d} \cdot f_{yd} = 1005 \cdot 434,78 = 437 \text{ kN}$$

$$x_d = \frac{F_{s,d}}{0,8 \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}} = \frac{437}{0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 20} = 27,3 \text{ mm}$$

$$M_{Rd,d} = F_{s,d} \cdot (d_d - 0,4 \cdot x_d) = 437 \cdot (0,092 - 0,4 \cdot 0,0273) = 35,4 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd,d} \geq M_{Ed,d}$$

Vyhovuje

$$F_{s,h} = a_{s,h} \cdot f_{yd} = 452 \cdot 434,78 = 197 \text{ kN}$$

$$x_h = \frac{F_{s,h}}{0,8 \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}} = \frac{197}{0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 20} = 12,3 \text{ mm}$$

$$M_{Rd,h} = F_{s,h} \cdot (d_h - 0,4 \cdot x_h) = 197 \cdot (0,124 - 0,4 \cdot 0,0123) = 23,5 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd,h} \geq M_{Ed,h}$$

Vyhovuje

Konstrukční zásady:

Maximální osová vzdálenost výztuže:

$$s_{max} = \min \left\{ \begin{matrix} 2h = 300 \\ 250 \end{matrix} \right\} = 250 \text{ mm} = s_h = 250 \text{ mm}$$

Vyhovuje

Minimální světlá vzdálenost výztuže:

$$s_{min} = \max \left\{ \begin{matrix} k_1 \cdot \emptyset = 12 \\ d_g + k_2 = 21 \\ 20 \end{matrix} \right\} = 21 \text{ mm} < s_{sv} = 52 \text{ mm}$$

Vyhovuje

Omezení množství tahové výztuže:

$$a_{s,min} = \max \left\{ \begin{matrix} 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d = 0,26 \cdot \frac{2,9}{500} \cdot 1000 \cdot 92 = 139 \text{ mm}^2 \\ 0,0013 \cdot b_t \cdot d = 0,0013 \cdot 1000 \cdot 92 = 120 \text{ mm}^2 \end{matrix} \right\} = 120 \text{ mm}^2$$

$$a_{s,max} = 0,04 \cdot a_c = 0,04 \cdot 1000 \cdot 150 = 6000 \text{ mm}^2$$

$$a_{s,min} \leq a_s \leq a_{s,max}$$

Vyhovuje

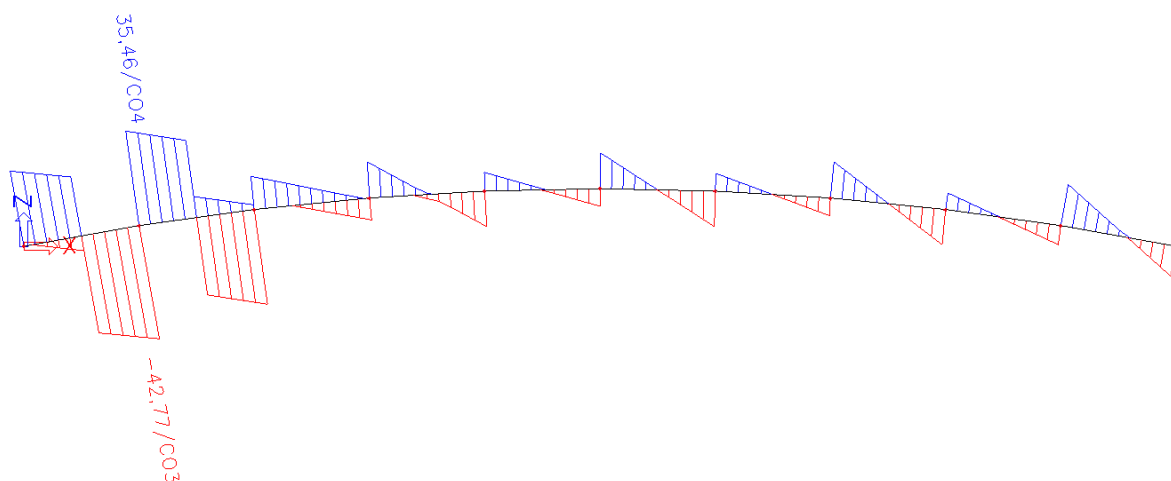
Omezení výšky tlačené oblasti:

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{27,3}{92} = 0,3 < \xi_{bal} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 434,78} = 0,617$$

Vyhovuje

Posouzení mostovky na smyk

Ověříme, zda dimenzační smykové síle vyhoví smyková únosnost betonu.



Obr. 39.: Výsledné maximální smykové síly na desce mostovky

$$V_{Ed} = 42,77 \text{ kN/bm}$$

$$a_s = 1005 \text{ mm}^2$$

$$d = 92 \text{ mm}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

Stupeň vyztužení:

$$\rho = \frac{a_s}{d \cdot b} = \frac{1005}{92 \cdot 1000} = 0,0109$$

$$\rho_{min} = \frac{0,6}{f_{yk}} = \frac{0,6}{500} = 0,0012$$

$$\rho_{max} = 0,02$$

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$$

Vyhovuje

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = 0,12$$

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} = 1 + (200/90)^{1/2} = 2,49 > 2,0$$

$$V_{Rd,cm} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho \cdot f_{ck})^{1/3} \cdot b \cdot d = 0,12 \cdot 2,0 \cdot (100 \cdot 0,0109 \cdot 30)^{1/3} \cdot 1000 \cdot 92 = 70,6 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,cm} > V_{Ed}$$

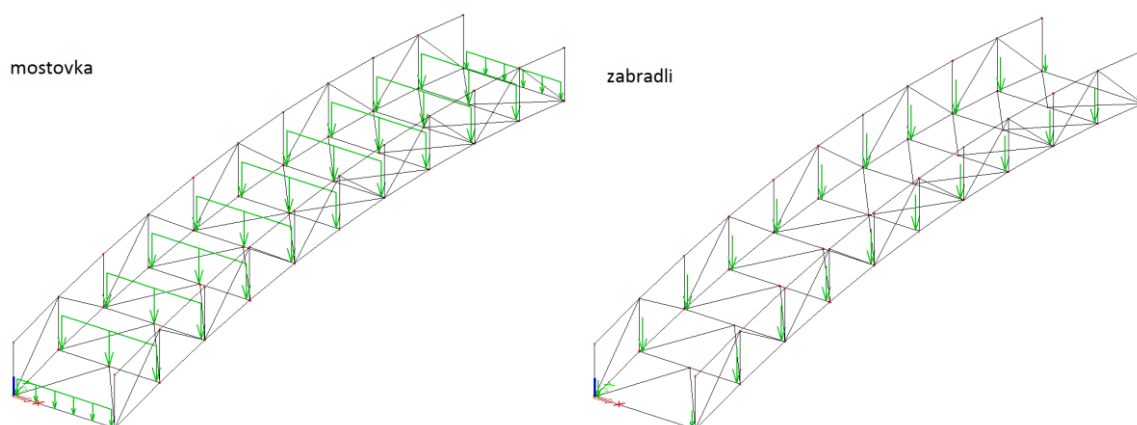
Vyhovuje

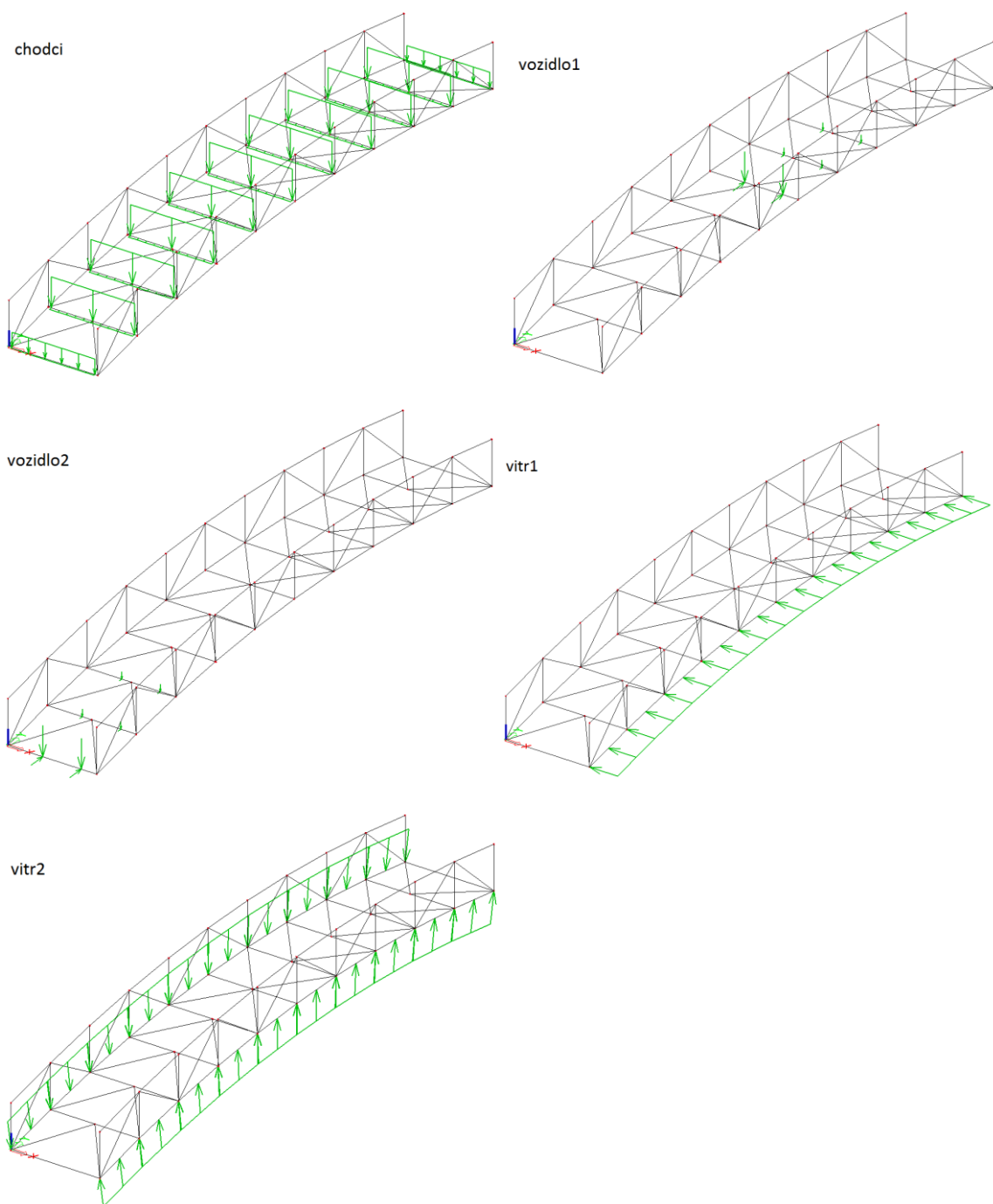
Smyková únosnost betonu stačí k přenesení dimenzačního smykového namáhání. Z konstrukčních důvodů jsou navrženy ohyby hlavní nosné výztuže a spony, které přenesou případné odchylky od výpočtu.

Navržené spony Ø 6 mm – 9 ks/m²

4.4. Návrh a posouzení nosné konstrukce lávky

Nosná konstrukce lávky je vymodelována jako prutový model. Konstrukce je zatížena vlastní tíhou, tíhou mostovky (včetně pochozí vrstvy), zábradlím, zatížením vyvolaným chodci a obslužným vozidlem a zatížením vyvolaným větrem. Zatížení obslužným vozidlem je umístěno ve dvou polohách pro vyvolání jednak maximálního ohybu konstrukce a jednak maximálních podporových reakcí. Plošná zatížení jsou přepočtena na liniová, kterými jsou zatíženy přímo příčnice lávky. Příčná poloha zatížení vozidlem je taková, aby vyvolala maximální účinky.





Obr. 40.: Zatěžovací stavy lávky

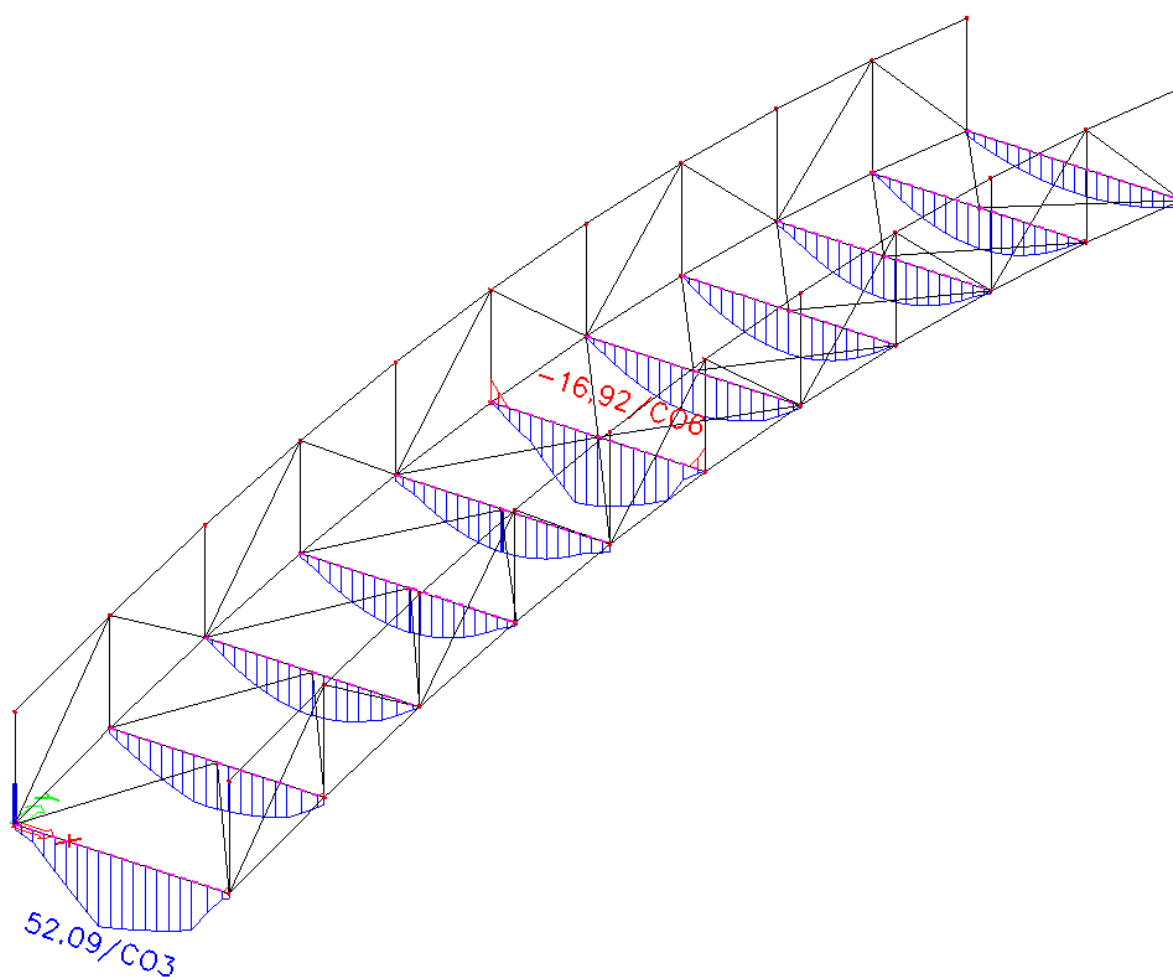
Z těchto zatěžovacích stavů jsou vytvořeny lineární kombinace dle následující tabulky.

Jméno	Typ	Zatěžovací stavy	Souč.
CO1	MSÚ	vlastni	1,35
		mostovka	1,35
		zabradli	1,35
		chodci	1,35
CO2	MSÚ	vlastni	1,35
		mostovka	1,35
		zabradli	1,35
		vozidlo1	1,35
CO3	MSÚ	vlastni	1,35
		mostovka	1,35
		zabradli	1,35
		vozidlo2	1,35
CO4	MSÚ	vlastni	1,35
		mostovka	1,35
		zabradli	1,35
		vitř1	0,9
		vitř2	0,9
CO5	MSÚ	vlastni	1,35
		mostovka	1,35
		zabradli	1,35
		chodci	1,35
		vitř1	0,9
		vitř2	0,9
CO6	MSÚ	vlastni	1,35
		mostovka	1,35
		zabradli	1,35
		vozidlo1	1,35
		vitř1	0,9
		vitř2	0,9
CO7	MSÚ	vlastni	1,35
		mostovka	1,35
		zabradli	1,35
		vozidlo2	1,35
		vitř1	0,9
		vitř2	0,9
CO8	MSP	vlastni	1,0
		mostovka	1,0
		zabradli	1,0
CO9	MSP	vlastni	1,0
		mostovka	1,0
		zabradli	1,0
		chodci	1,0
		vitř1	1,0
		vitř2	1,0

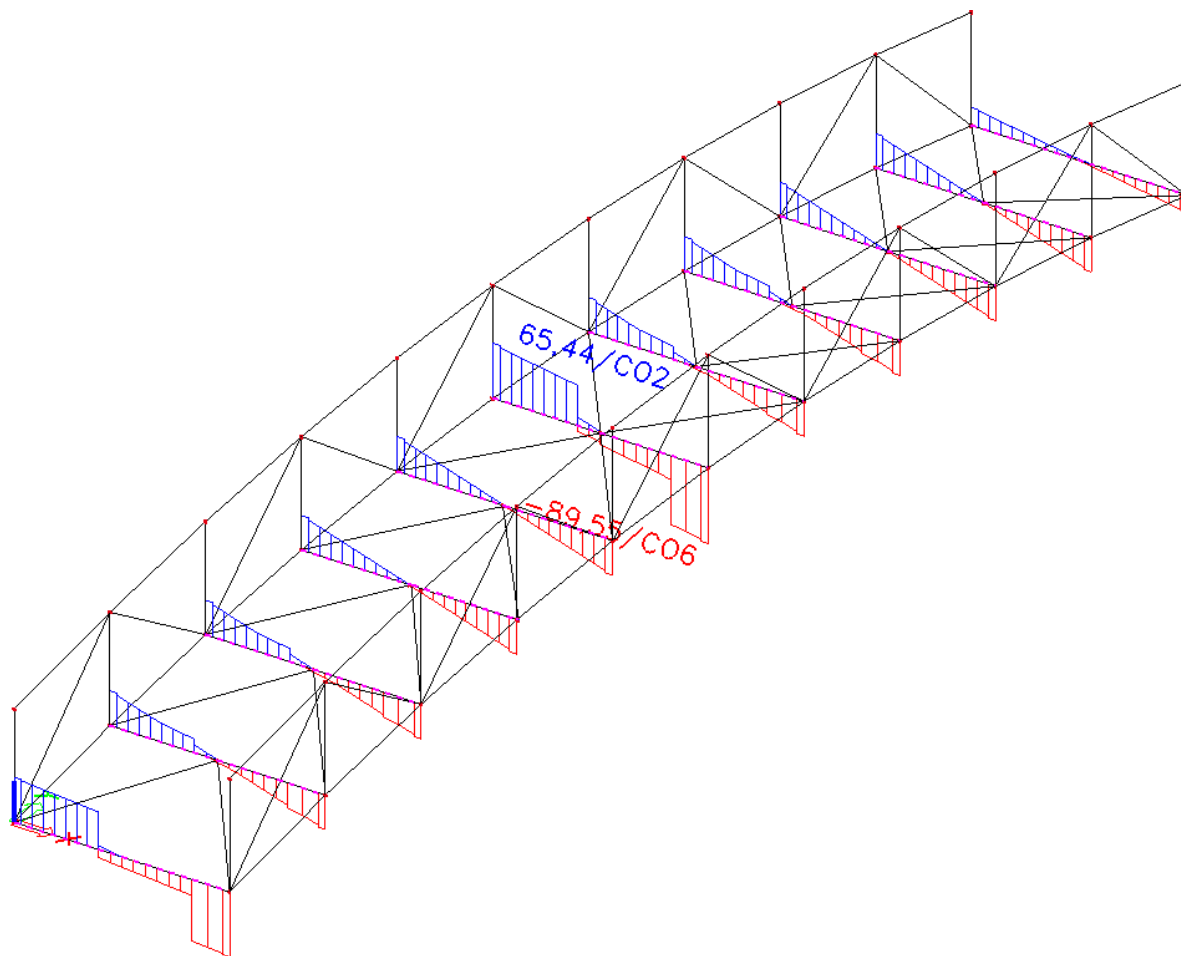
CO10	MSP	vlastni	1,0
		mostovka	1,0
		zabradli	1,0
		vozidlo1	1,0
		vitř1	1,0
		vitř2	1,0
CO11	MSP	vlastni	1,0
		mostovka	1,0
		zabradli	1,0
		vozidlo2	1,0
		vitř1	1,0
		vitř2	1,0

S těmito kombinacemi je proveden lineární výpočet a jednotlivé prvky konstrukce jsou následně posouzeny na maximální vznikající vnitřní síly.

Posouzení příčníků



Obr. 41.: Maximální ohybové momenty na příčniku



Obr. 42.: Maximální posouvající síly na příčniku

Příčník je navržen z válcovaného profilu IPE 220

MSÚ:

$$A_v = 1,04 \cdot h \cdot t_w = 1,04 \cdot 220 \cdot 5,9 = 1349,9 \text{ mm}^2$$

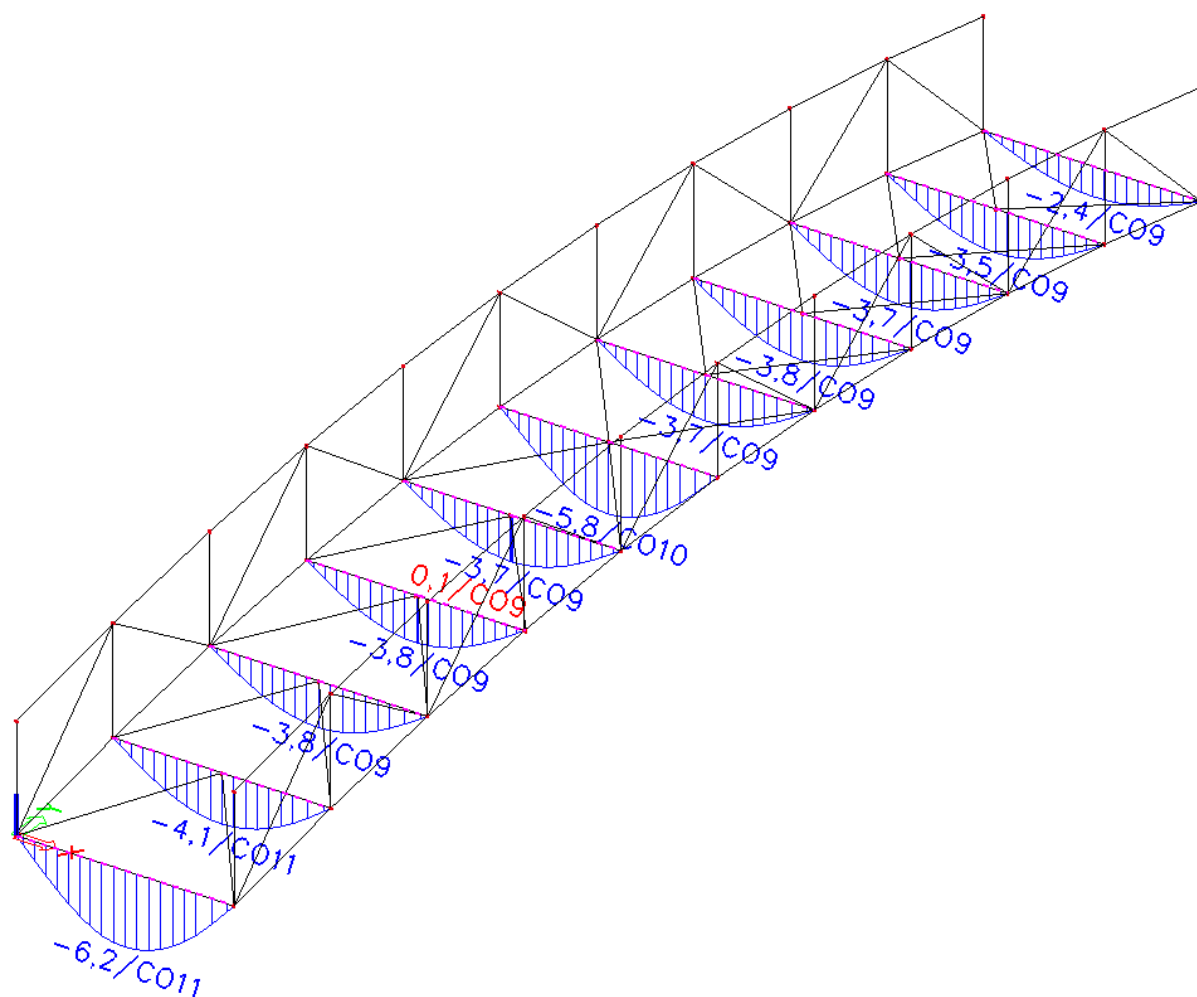
$$V_a = A_v \cdot \frac{f_y}{\gamma_a \cdot \sqrt{3}} = 1349,9 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{355 \cdot 10^3}{1,0 \cdot \sqrt{3}} = 276,7 \text{ kN} \geq 2 \cdot V_{sd} = 179,1 \text{ kN}$$

$$M_a = \frac{W_a \cdot f_y}{\gamma_{Ma}} = \frac{285,4 \cdot 10^{-6} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 101,3 \text{ kNm} \geq M_{sd} = 52,09 \text{ kNm}$$

Vyhovuje

Využití průřezu:

$$\frac{M_{sd}}{M_a} = \frac{52,09}{101,3} = 0,514$$



Obr. 43.: Průhyby příčníků

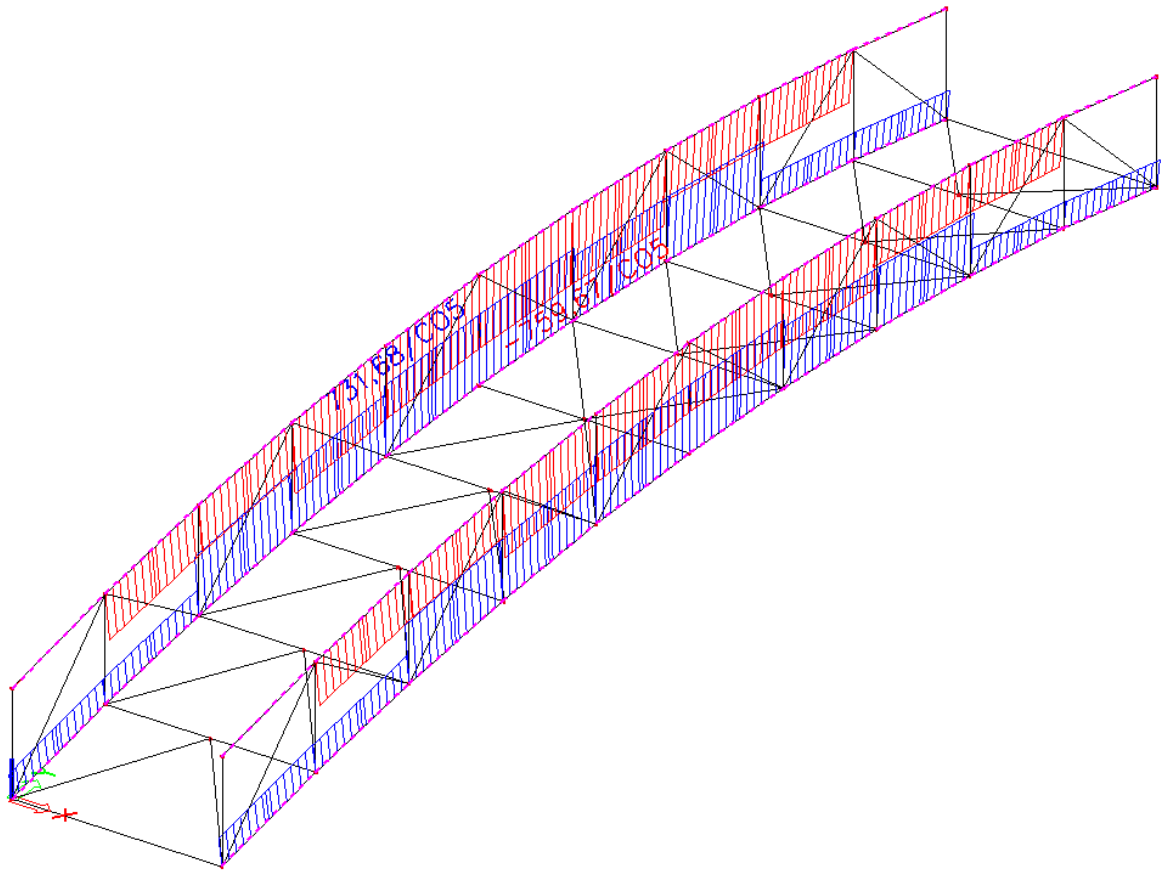
MSP:

$$\delta = 6,2 \text{ mm}$$

$$6,2 \text{ mm} \leq \frac{L}{250} = 12 \text{ mm}$$

Vyhovuje

Posouzení horního a dolního pásu příhradového nosníku



Obr. 44.: Extrémní normálové síly na horním a dolním pásu nosníku

Horní a dolní pás je navržen z trubek ROR219,1/10,0

Dolní pás:

Dolní pás příhrady je tažený

$$N_{t,Ed} = 731,68 \text{ kN}$$

$$A = 6570 \text{ mm}^2$$

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_y = 6570 \cdot \frac{355}{1,0} = 2332,4 \text{ kN}$$

Vyhovuje

Využití průřezu:

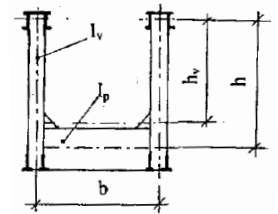
$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{731,68}{2332,4} = 0,314$$

Horní pás:

Horní pás příhrady je tlačенý, je tedy nutno posoudit jeho vzpěrnou únosnost proti vybočení z roviny. Pásky jsou proti vybočení z roviny zajištěny pružným odporem příčných polorámů.

Příčný odpor příčného polorámu:

$$C = \frac{1}{\delta} = \frac{E}{\frac{h_v^3}{3 \cdot I_v} + \frac{b \cdot h}{2 \cdot I_p}} = \frac{210 \cdot 10^9}{\frac{1,28^3}{3 \cdot 2,88 \cdot 10^{-6}} + \frac{3 \cdot 1,5}{2 \cdot 27,72 \cdot 10^{-6}}} = 1991627,13$$



Jednotlivé pruty tlačného pásu lze považovat za zajištěné proti vybočení z roviny nosníku, je-li pružný odpor C příčných rámu větší, než hodnota C_{lim} :

$$C_{lim} = \frac{4,5 \cdot N_{sd,max}}{s_{min}} \cdot \gamma_{M1} = \frac{4,5 \cdot 759,67}{2} \cdot 1,0 = 1709257$$

Podmínka je splněna, za vzpěrnou délku tlačného pásu lze vzít vzdálenost příčných rámu.

$$N_{Ed} = 5,0 \text{ kN}$$

Vzpěrná délka prutů:

$$L_{cr} = L = 2000 \text{ mm}$$

Vzpěrná únosnost:

$$I = 35980000 \text{ mm}^4$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 35980000}{2000^2} = 18643189 \text{ N}$$

$$\lambda = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{\sigma_{cr}}} = \pi \cdot \sqrt{\frac{210000}{\frac{18643189}{6570}}} = 27,03 < 200$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{6570 \cdot 355}{18643189}} = 0,354$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21(0,354 - 0,2) + 0,354^2] = 0,579$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,579 + \sqrt{0,579^2 - 0,354^2}} = 0,965$$

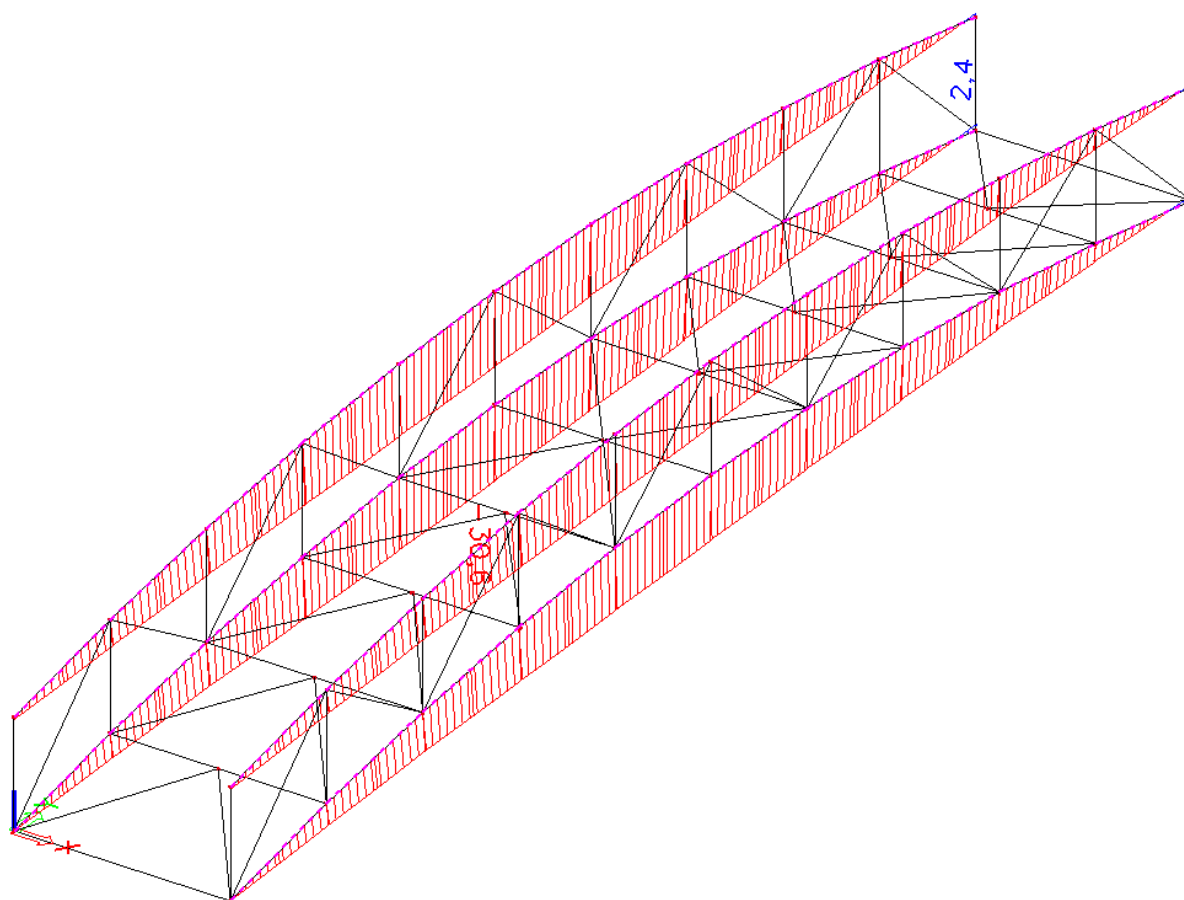
$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd} = 0,965 \cdot 6750 \cdot 355 = 2249,8 \text{ kN}$$

Stupeň využití prvku:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{759,67}{2249,8} = 0,338$$

Vyhovuje

Průhyb pásů:

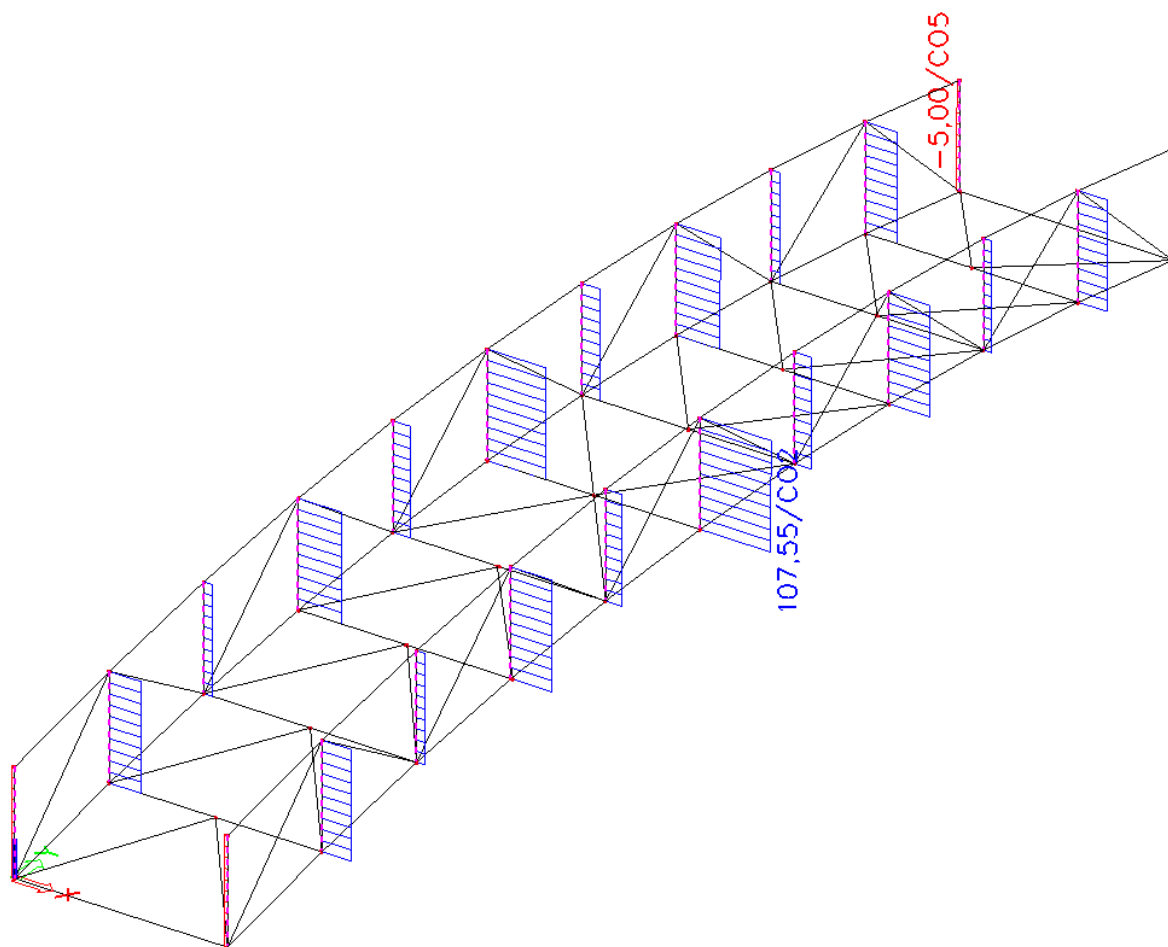


$$\delta = 30,6 \text{ mm}$$

$$30,6 \text{ mm} \leq \frac{L}{250} = 80 \text{ mm}$$

Vyhovuje

Posouzení svislic příhradového nosníku



Obr. 45.: Normálové síly na svislicích nosníku

Svislice nosníku jsou navrženy z trubek ROR108/7,1

Tažený prvek:

$$N_{t,Ed} = 107,55 \text{ kN}$$

$$A = 2250 \text{ mm}^2$$

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_y = 2250 \cdot \frac{355}{1,0} = 798,8 \text{ kN}$$

Vyhovuje

Využití průřezu:

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{107,55}{798,8} = 0,135$$

Tlačený prvek:

$$N_{Ed} = 5,0 \text{ kN}$$

Vzpěrná délka prutů:

$$L_{cr} = 0,75 \cdot L_{teor} = 0,75 \cdot 1500 = 1125 \text{ mm}$$

Vzpěrná únosnost:

$$I = 2880000 \text{ mm}^4$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 2880000}{1500^2} = 2652950 \text{ N}$$

$$\lambda = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{\sigma_{cr}}} = \pi \cdot \sqrt{\frac{210000}{\frac{2652950}{2250}}} = 41,93 < 200$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{2250 \cdot 355}{2652950}} = 0,549$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21(0,549 - 0,2) + 0,549^2] = 0,687$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,687 + \sqrt{0,687^2 - 0,549^2}} = 0,908$$

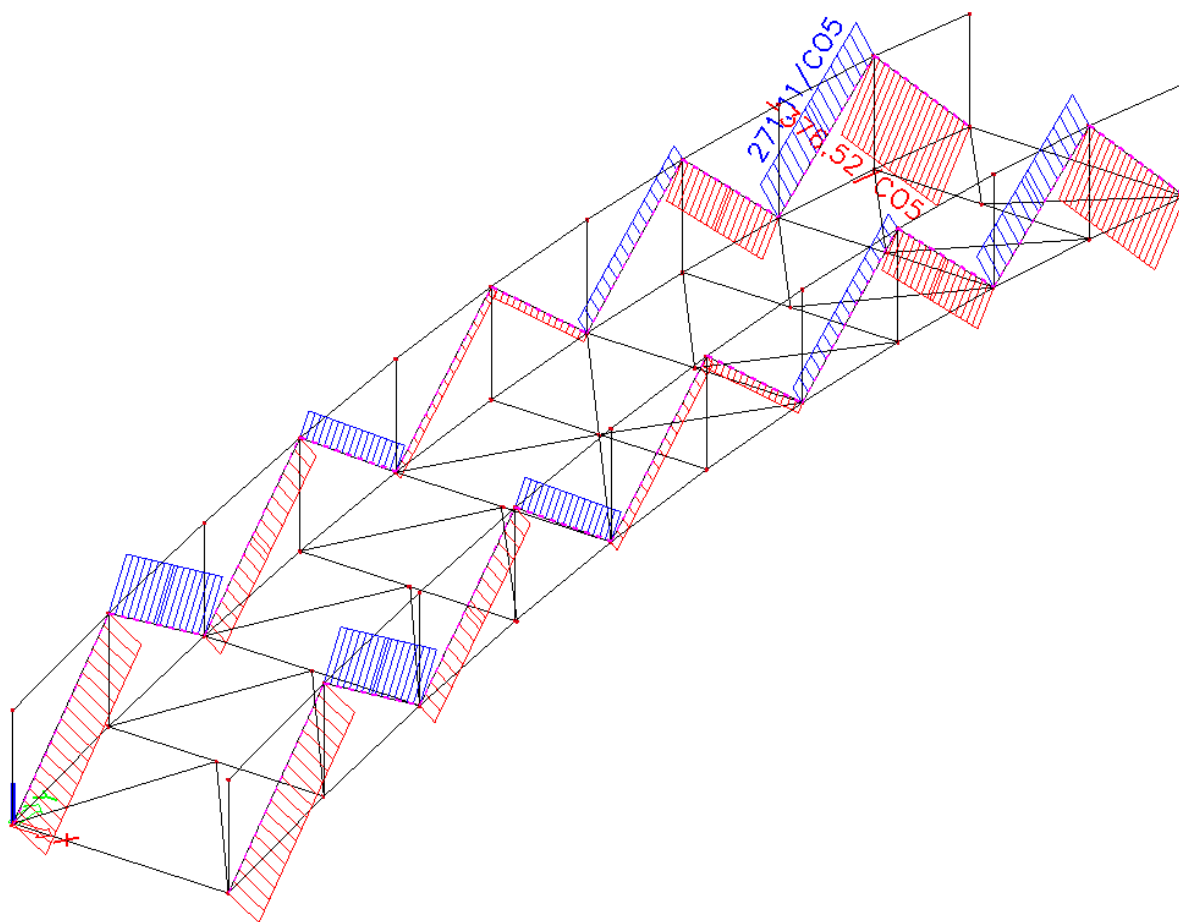
$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd} = 0,908 \cdot 2250 \cdot 355 = 725,61 \text{ kN}$$

Stupeň využití prvku:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{5,0}{725,61} = 0,007$$

Vyhovuje

Posouzení diagonál příhradového nosníku



Obr. 46.: Normálové síly na diagonálách nosníku

Svislice nosníku jsou navrženy z trubek ROR88,9/10

Tažený prvek:

$$N_{t,Ed} = 271,11 \text{ kN}$$

$$A = 2480 \text{ mm}^2$$

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_y = 2480 \cdot \frac{355}{1,0} = 880,4 \text{ kN}$$

Vyhovuje

Využití průřezu:

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{271,11}{880,4} = 0,307$$

Tlačený prvek:

$$N_{Ed} = 376,52 \text{ kN}$$

Vzpěrná délka prutu:

$$L_{cr} = 0,75 \cdot L_{teor} = 0,75 \cdot 2500 = 1875 \text{ mm}$$

Vzpěrná únosnost:

$$I = 1960000 \text{ mm}^4$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 1960000}{2500^2} = 649973 \text{ N}$$

$$\lambda = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{\sigma_{cr}}} = \pi \cdot \sqrt{\frac{210000}{\frac{649973}{2480}}} = 88,93 < 200$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{2480 \cdot 355}{649973}} = 1,164$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21(1,164 - 0,2) + 1,164^2] = 1,278$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1,278 + \sqrt{1,278^2 - 1,164^2}} = 0,553$$

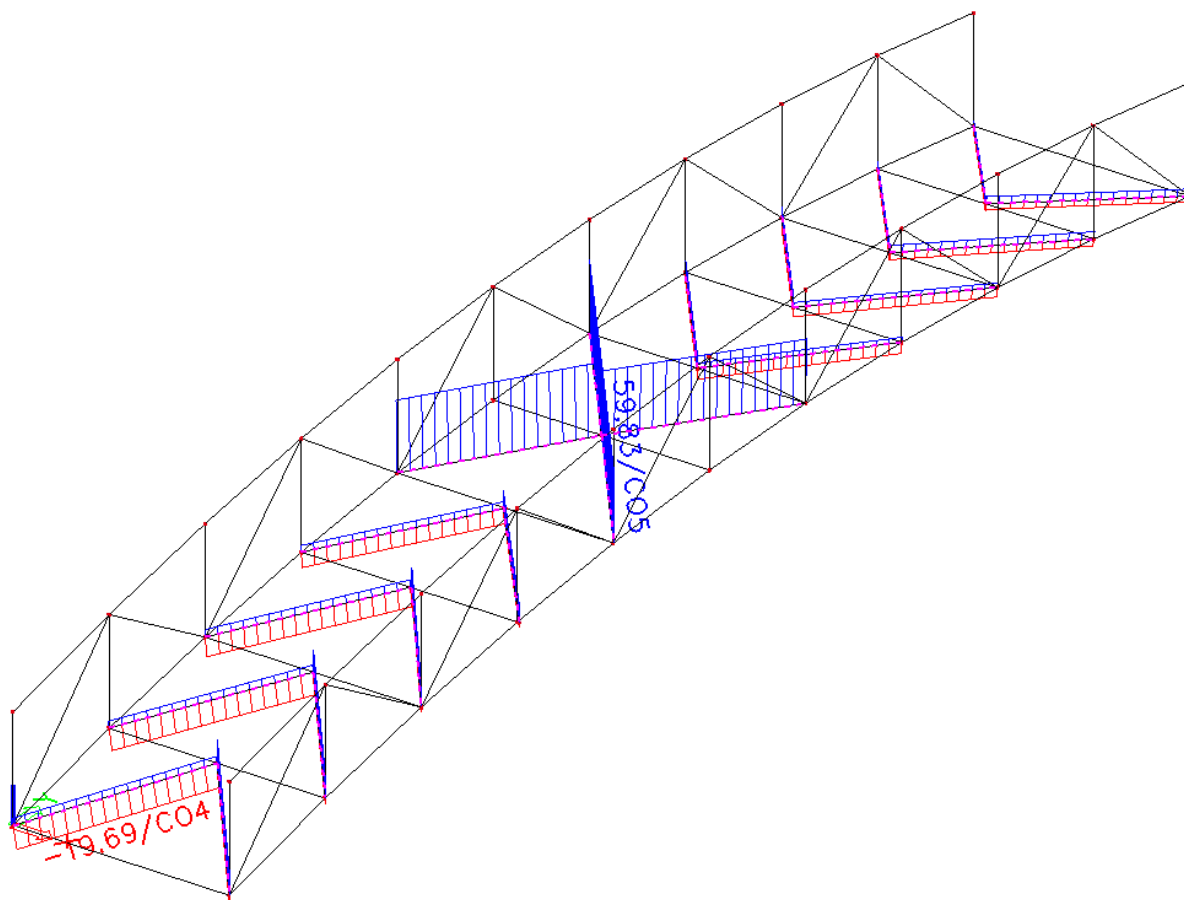
$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd} = 0,553 \cdot 2480 \cdot 355 = 487,07 \text{ kN}$$

Stupeň využití prvku:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{376,52}{487,07} = 0,773$$

Vyhovuje

Posouzení prvků podélného ztužení lávky



Obr. 47.: Normálové síly na prvcích ztužení

Svislice nosníku jsou navrženy z trubek ROR42,4/5,0

Tažený prvek:

$$N_{t,Ed} = 59,83 \text{ kN}$$

$$A = 587 \text{ mm}^2$$

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_y = 587 \cdot \frac{355}{1,0} = 208,4 \text{ kN}$$

Vyhovuje

Využití průřezu:

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{59,83}{208,4} = 0,287$$

Tlačený prvek:

$$N_{Ed} = 19,69 \text{ kN}$$

Vzpěrná délka prutů:

$$L_{cr} = 0,75 \cdot L_{teor} = 0,75 \cdot 2500 = 1875 \text{ mm}$$

Vzpěrná únosnost:

$$I = 105000 \text{ mm}^4$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 105000}{2500^2} = 34820 \text{ N}$$

$$\lambda = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{\sigma_{cr}}} = \pi \cdot \sqrt{\frac{210000}{\frac{34820}{587}}} = 186,92 < 200$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{587 \cdot 355}{34820}} = 2,446$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21(2,446 - 0,2) + 2,446^2] = 3,728$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1,278 + \sqrt{3,728^2 - 2,446^2}} = 0,153$$

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd} = 0,153 \cdot 587 \cdot 355 = 31,86 \text{ kN}$$

Stupeň využití prvku:

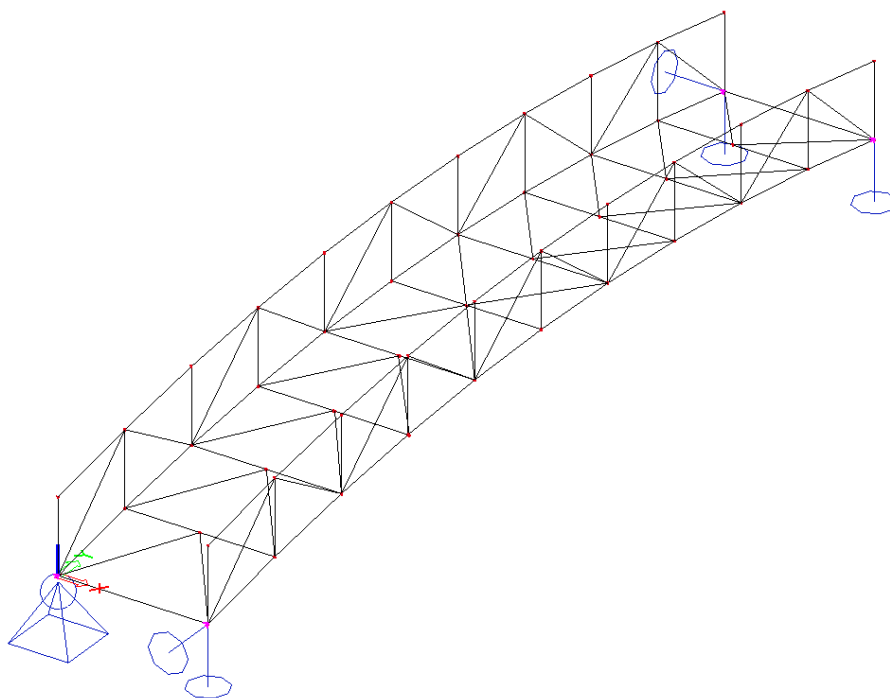
$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{19,69}{31,86} = 0,618$$

Vyhovuje

4.5.Návrh uložení lávky na opěry

Mostní konstrukce obecně se na základovou konstrukci (např. železobetonovou opěru) ukládají přes ložiska. Ty jsou součástí nosné konstrukce mostu nebo lávky a zajišťují správné uložení nosné konstrukce a roznesení podporových tlaků na úložný práh [9]. Z hlediska funkce se rozlišují všesměrně pohyblivá, jednosměrně pohyblivá a pevná ložiska umožňující pouze pootáčení.

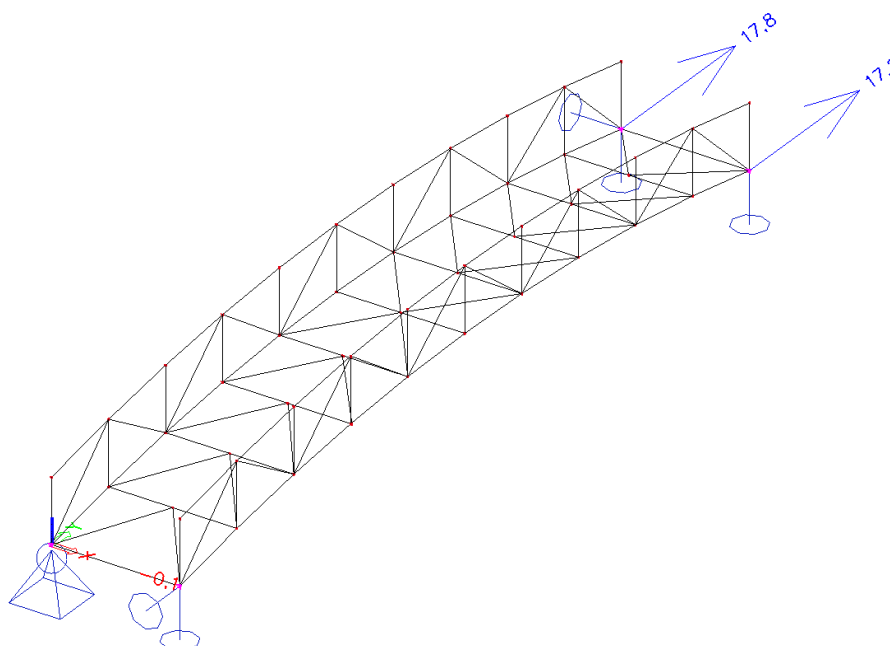
Na mnou navržené lávce jsou umístěna celkem čtyři ložiska, na každém konci nosného trámu jedno. Volné směry posunu v ložisku jsou patrné z obrázku.



Obr. 48.: Uložení nosné konstrukce

Vzhledem k šířce lávky by bylo možné i jiné schéma uložení, a to dvě pevné podpory na jednom konci lávky a dvě podélně posuvné na druhém konci, navržená varianta je ovšem vhodnější pro bezpečné přenesení dilatačních posunů.

Ložiska musí přenést posuny vyvolané průhybem lávky a rovnoměrnou změnou teploty a je třeba ponechat i rezervu pro pohyb plynoucí z deformace opěry



Obr. 49.: Velikost posunů podpor vlivem průhybu mostu

Posun od rovnoměrného oteplení:

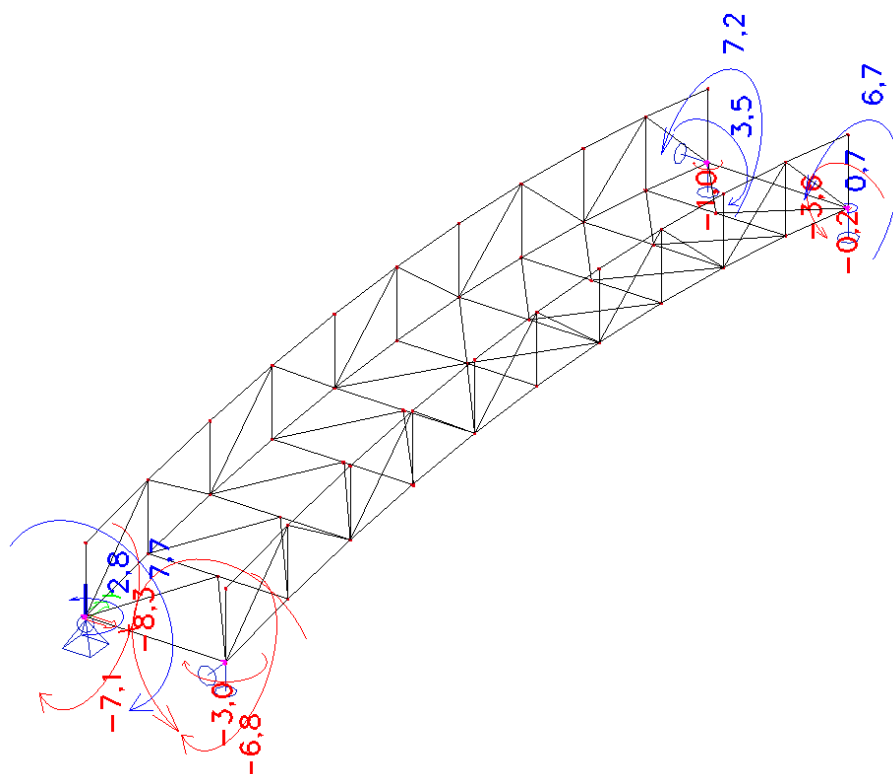
$$\Delta L_T = \Delta T \cdot \alpha \cdot L$$

$$\Delta T = 75 \text{ °C} \quad (T_{\max} = 45 \text{ °C}; T_{\min} = -30 \text{ °C})$$

$$\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$$

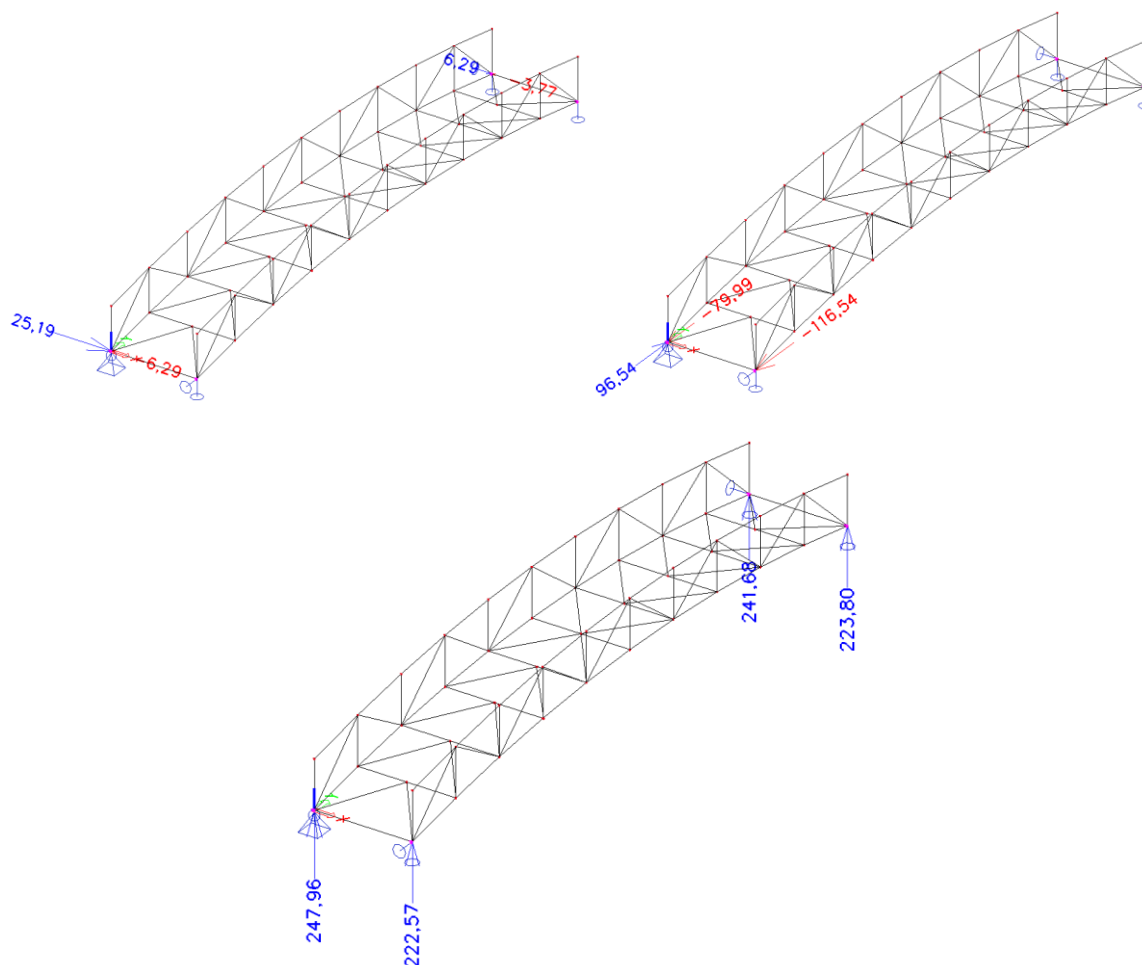
$$\Delta L_T = 75 \cdot 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot 20000 = 18 \text{ mm}$$

Pootočení v podporách vyvolané zatížením:



Obr. 50.: Pootočení podpor vyvolané zatížením

Reakce v podporách vyvolané zatížením:



Obr. 51.: Podporové reakce vyvolané zatížením

Návrh ložisek

Pro dané podporové reakce a posunutí a pootočení podpor navrhuji elastomerová ložiska dle materiálů firmy Freyssinet CS, a.s.

Půdorysné rozměry ložiska	Maximální namáhání v tlaku při nulové deformaci	Tloušťka vrstev	Počet vrstev	Počet výztužných desek (TYP B)	Tloušťka výztužných desek	TYP B			Celkové přípustné pootočení **
						Celková tloušťka elastomeru	Celková tloušťka ložiska	Přípustná deformace *	
axb, D	F	t	n	ns	ts	Te	T	w	α
mm	kN	mm			mm	mm	mm	mm	m rad
100 x 150	121	8	2	3	3	21	30	21	33
100 x 200	132		3	4		29	41	29	40
150 x 200	468	8	2	3	3	21	30	21	10
150 x 250	549		3	4		29	41	29	15
150 x 300	576		4	5		37	52	37	19

Obr. 52.: Tabulka rozměrů a únosnosti elastomerových ložisek (freyssinet-cs.cz)

Z uvedené tabulky vyplývá, že pro všechna čtyři ložiska je vhodné ložisko o rozměrech 150x200 mm s maximální únosností v tlaku 468 kN, přípustnou deformaci ± 21 mm a natočení 10 mrad. Toto je splněno ve všech čtyřech podporách.

4.6.Modální analýza lávky

Na lávkách pro chodce je velmi důležité určení vlastních frekvencí lávky. Dle normy [4] mají dynamické síly buzené chodci na lávce ve svislém směru frekvenci 1 – 3 Hz. Vlastní frekvence lávky by tedy neměly být v tomto intervalu. V opačném případě hrozí vznik rezonance lávky, která může mít za následek i zřícení lávky a lávku by v takovém případě bylo třeba posoudit i dynamicky.

Modální analýzu lávky provádím pomocí programu Scia Engineer 2011.0. Pro modální analýzu je potřeba vytvořit skupiny hmot lávky. Hmotou lávky je jednak vlastní ocelová nosná konstrukce lávky a hmota mostovky včetně pochozí vrstvy. Ta je na prutovém modelu zadána jako spojitá hmota na prutech s hmotností odpovídající hmotnosti mostovky. Tyto hmoty pak vytvoří tzv. kombinaci hmot.

Výstupem modální analýzy jsou vlastní frekvence lávky. Spočítány jsou první čtyři vlastní frekvence. Zjištěné frekvence mají hodnoty 3,57 Hz, 4,26 Hz, 8,37 Hz a 8,41 Hz. Tyto frekvence jsou mimo nebezpečný interval, dynamické posouzení lávky tedy není nutné. První vlastní frekvence je poměrně blízká nebezpečnému intervalu, je tedy případně možné na lávku nainstalovat tlumič odpovídající této vlastní frekvenci.

4.7.Posouzení únosnosti nosné konstrukce po 100 letech

Vzhledem k faktu, že patinující oceli mají korozní rychlost sice výrazně nižší než běžné konstrukční oceli, nikoliv však nulovou, je nutné posoudit únosnost jednotlivých prvků i na konci životnosti lávky, tedy po 100 letech expozice. To se provádí zvětšením jmenovité hodnoty tloušťky prvku o tzv. korozní přírůstek Δt . Výpočet korozního přírůstku vychází z návrhové hodnoty korozního úbytku. Korozní úbytek lze vypočítat podle směrných korozních rychlostí, odečíst z mapy nebo je možné pro výpočet použít software dostupný na www.atmofix.cz.

Při použití programu na www.atmofix.cz se zadávají hodnoty znečištění prostředí SO₂, průměrná teplota a relativní vlhkost vzduchu a doba expozice konstrukce a dále typ použité oceli, poloha plochy v konstrukce, zda jsou dodrženy zásady návrhu a údržby a typ expozice plochy. Pro zadané hodnoty znečištění SO₂ 17 μ g/m³, teplotu vzduchu 7 °C, relativní vlhkost

80 % a dobu expozice 100 let vychází korozní úbytek u jednostranně smáčených ploch po 100 letech expozice 104,49 $\mu\text{m}/\text{rok}$. Při použití oceli S355J2W, dodržení konstrukčních zásad, nedodržování zásad údržby vychází pro svislé přímo ovlhčované plochy korozní úbytek konstrukčního prvku po 100 letech expozice 156,74 μm , pro koutové krční svary 235,10 μm .

O kladnou hodnotu korozního přírůstku $\Delta t \geq \Delta t_{\min}$ je třeba zvětšit tloušťku nejvíce namáhaných a pevnostně nejlépe využitých průřezů konstrukce a nejvíce korozně ohrožených průřezů (komplikované detaily, místa ohrožená zatékáním vody nebo roztoků solí). V ostatních částech konstrukce je zesilování prvků zbytečné.

Průřez	Stupeň využití		
	Tah	Tlak	Ohyb
ROR219,1/10,0	0,314	0,338	-
ROR108/7,1	0,135	0,007	-
ROR88,9/10,0	0,307	0,773	-
ROR42,4/5,0	0,287	0,618	-
IPE220	-	-	0,514

Z tabulky využití průřezů je zřejmé, že průřezy mají dostatečnou rezervu únosnosti a není je třeba zesilovat o korozní přírůstek.

Zhodnocení detailů přípojí s ohledem na tvorbu ochranné patiny

U konstrukcí z patinujících ocelí je velmi důležité konstrukční řešení detailů, aby se v žádném místě konstrukce nemohly hromadit nečistoty, prach, voda a korozní produkty, které by měly negativní vliv na vznik a vývoj ochranné patiny a tím i na životnost celé konstrukce.

Vzhledem k tomu, že hlavní nosná konstrukce, tedy svařovaný příhradový nosník, je navržen výhradně z kruhových trubkových profilů, nevznikají na konstrukci nosníku žádná nebezpečná místa, kde by mohlo docházet k hromadění nečistot. Přípoje jednotlivých prvků jsou provedeny celoobvodovými svary, nehrozí tedy ani riziko spárové koroze, která by mohla mít za následek poškození přípoje.

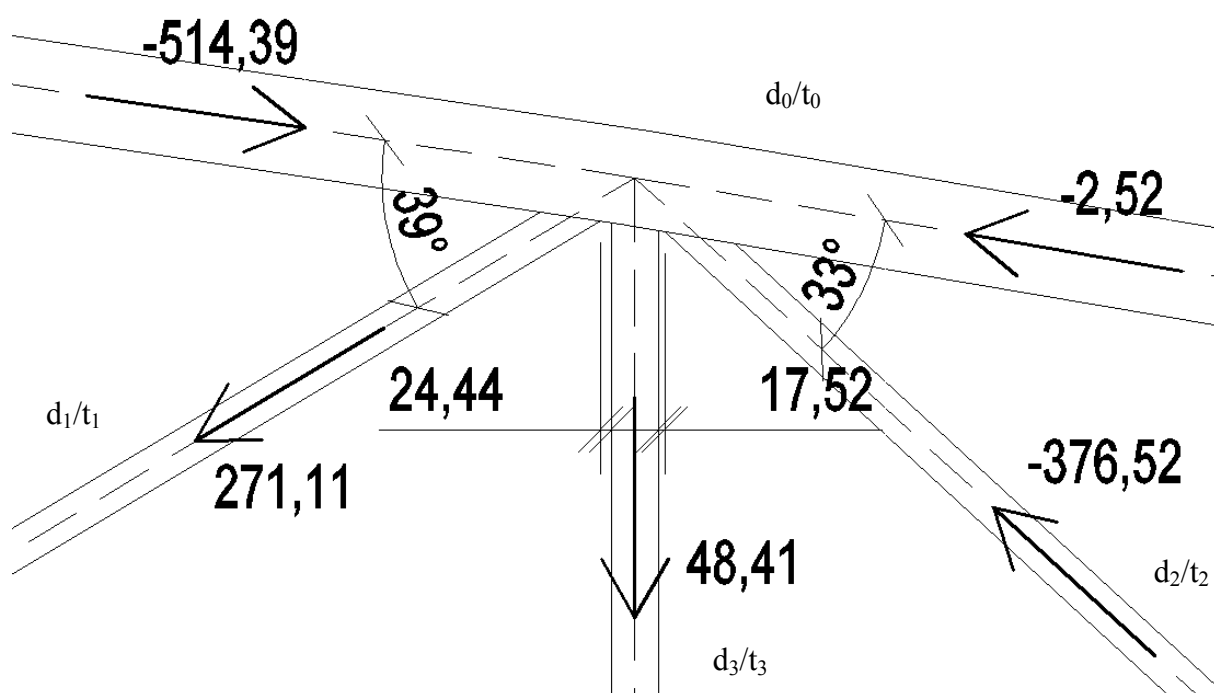
Přípoj příčníku z válcovaného IPE profilu k dolnímu pásu příhradového nosníku není z tohoto hlediska tak ideální. Ve spodní části přípoje IPE nosníku ke kruhovému průřezu dolního pásu vzniká úzké místo, kde by se mohly hromadit nečistoty, které by mohly mít nepříznivý vliv na vývoj patiny a tím i na únosnost přípoje a celé konstrukce. V tomto rizikovém místě doporučuji provést zarážku ze šikmého plechu, která zabráni hromadění nečistot.

4.8. Návrh a posouzení přípojí

Veškeré styky na konstrukci jsou svarové, což je pro konstrukce z patinujících ocelí nevýhodnější. Vzhledem k tloušťce použitých profilů jsou navrženy svary s účinnou výškou 4 mm. Svary jsou provedeny podél celého obvodu styku jednotlivých prvků.

Posuzujeme nejnamáhanější styčník příhradového nosníku a přípoj příčnicku k hlavnímu nosníku.

Styčník příhradového nosníku



Obr. 53.: Schéma nejnamáhanějšího styčníku příhradového nosníku s vyznačením působících sil

Ověření geometrických podmínek:

$$g_1 = 24,44 \text{ mm} \quad g_2 = 17,52 \text{ mm}$$

$$g = 17,52 \text{ mm} \geq t_2 + t_3 = 7,1 + 7,1 = 14,2 \text{ mm} \quad \text{podmínka je splněna}$$

$$0,2 \leq \frac{d_1}{d_0} = \frac{88,9}{219,1} = 0,41 \leq 1,0$$

$$0,2 \leq \frac{d_3}{d_0} = \frac{108}{219,1} = 0,49 \leq 1,0$$

$$10 \leq \frac{d_0}{t_0} = \frac{219,1}{10,0} = 21,91 \leq 50$$

$$10 \leq \frac{d_1}{t_1} = \frac{88,9}{7,1} = 12,52 \leq 50$$

$$10 \leq \frac{d_3}{t_3} = \frac{108}{701} = 15,21 \leq 50$$

Únosnost na porušení smykem:

$$N_{1,Rd} = \frac{\frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} t_0 \pi d_1 \frac{1 + \sin \theta_1}{2 \sin^2 \theta_1}}{\gamma_{M5}} = \frac{\frac{355}{\sqrt{3}} \cdot 10 \cdot \pi \cdot 88,9 \cdot \frac{1 + \sin 39}{2 \sin^2 39}}{1,0} = 1177,4 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$N_{1,Rd} = 1177,4 \text{ kN} \geq N_{1,Ed} = 271,11 \text{ kN}$$

$$N_{2,Rd} = \frac{\frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} t_0 \pi d_2 \frac{1 + \sin \theta_2}{2 \sin^2 \theta_2}}{\gamma_{M5}} = \frac{\frac{355}{\sqrt{3}} \cdot 10 \cdot \pi \cdot 88,9 \cdot \frac{1 + \sin 33}{2 \sin^2 33}}{1,0} = 1490,4 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$N_{2,Rd} = 1490,4 \text{ kN} \geq N_{2,Ed} = 376,52 \text{ kN}$$

Vyhovuje na porušení smykem

Únosnost na prolomení pásu:

$$N_{2,Rd} = \frac{\frac{k_g k_p f_{y0} t_0^2}{\sin \theta_2} \left(1,8 + 10,2 \frac{d_1 + d_2 + d_3}{3 d_0} \right)}{\gamma_{M5}} = \frac{\frac{2,0 \cdot 1,0 \cdot 355 \cdot 10^2}{\sin 33} \left(1,8 + 10,2 \frac{2 \cdot 88,9 + 108}{3 \cdot 219,1} \right)}{1,0} = 812,8 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Posouzení:

$$N_{1,Ed} \sin \theta_1 + N_{3,Ed} \sin \theta_3 \leq N_{2,Rd} \sin \theta_2$$

$$N_{2,Ed} \sin \theta_2 \leq N_{2,Rd} \sin \theta_2$$

$$271,11 \cdot \sin 39 + 48,41 \cdot \sin 80 = 218,3 \text{ kN} \leq 812,8 \cdot \sin 33 = 442,7 \text{ kN}$$

$$376,52 \cdot \sin 33 = 205,1 \text{ kN} \leq 812,8 \cdot \sin 33 = 442,7 \text{ kN} \quad \text{Vyhovuje na prolomení}$$

Přípoj příčnicku na dolní pás příhradového nosníku

Výpočet napětí:

Smykové napětí ve směru svaru (dle Scia Engineer 2011.0):

$$\tau_{\parallel} = 113,4 \text{ MPa}$$

Napětí kolmo na svar:

$$\sigma_w = \frac{M_{Ed}}{W_{el,w}} = \frac{16,92}{2 \cdot \frac{4 \cdot (\pi \cdot 219,1)^2}{6}} = 26,78 \text{ MPa}$$

Rozdělení do směrů:

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \sigma_w \cdot \cos 45 = 18,94 \text{ MPa}$$

Posudek:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = 200 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} = 453 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = 18,94 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 408 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

5. Závěr

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout a posoudit konstrukci lávky pro pěší z patinující oceli. Návrh má sloužit jako typový podklad pro lávky s různým umístěním, zejména je, vzhledem k vlastnostem použitého materiálu, vhodný do přírodních prostředí, případně i na další místa, kde je výhodné omezení údržby (zejména údržby a obnovy protikorozních ochrany) na minimum.

Vypracování této práce pro mě bylo velkým přínosem. Zejména jsem se seznámila s vlastnostmi patinujících ocelí, s možnostmi jejich využití a zásadami pro navrhování konstrukcí z tohoto materiálu. Dále jsem prostudovala různé typy mostních konstrukcí. Významné pro mě bylo rovněž seznámení s výpočetním softwarem Scia Engineer 2011.0, s jehož pomocí jsem vytvořila klíčovou část své diplomové práce – model konstrukce, který svým chováním odpovídá reálné konstrukci.

Výsledkem mé diplomové práce je návrh lávky na rozpětí 20 m. Nosnou konstrukci tvoří dva příhradové obloukové trámy. Lávka je navržena s dolní mostovkou. Lávka umožňuje kromě průchodu chodců i průjezd servisního vozidla.

6. Seznam použité literatury

- [1] ČSN EN 1990 *Zásady navrhování konstrukcí*, Praha: ČNI
- [2] ČSN EN 1991-1-1 *Zatížení konstrukcí – Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*, Praha: ČNI
- [3] ČSN EN 1991-1-4 *Zatížení konstrukcí – Obecná zatížení – Zatížení větrem*, Praha: ČNI
- [4] ČSN EN 1991-2 *Zatížení konstrukcí – Zatížení mostů dopravou*, Praha: ČNI
- [5] ČSN EN 1993-1-1 *Navrhování ocelových konstrukcí – Obecná pravidla pro pozemní stavby*, Praha: ČNI
- [6] ČSN EN 1993-1-8 *Navrhování ocelových konstrukcí – Navrhování styčníků*, Praha: ČNI
- [7] ČSN EN 1993-2 *Navrhování ocelových konstrukcí – Ocelové mosty*, Praha: ČNI
- [8] Křivý, V. et al.: *Směrnice pro používání oceli se zvýšenou odolností proti atmosférické korozi – směrnice České asociace ocelových konstrukcí*, Praha: SVÚOM Praha, 2011
- [9] Rotter, T., Studnička, J.: *Ocelové mosty*, Praha: Nakladatelství ČVUT, 2006

7. Seznam příloh

Seznam výkresů

- 1 Příčný řez
- 2 Podélný řez
- 3 Půdorys
- 4 Detaily